



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURI UOTILA
DIESELMOOTTORIN SUUNNITTELU KOKOONPANON
KANNALTA

Diplomityö

Tarkastajat: Yliopistonlehtori
Timo Lehtonen ja professori
Kari T. Koskinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 8.4.2015

TIIVISTELMÄ

UOTILA, LAURI: Dieselmoottorin suunnittelu kokoonpanon kannalta
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 48 sivua, 7 liitesivua
Toukokuu 2015
Konetekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Tuotantotekniikka
Tarkastajat: yliopistonlehtori Timo Lehtonen ja professori Kari T. Koskinen

Avainsanat: DFA, DFMA, rinnakkain suunnittelu,

Tämän diplomityön päätavoite oli tutkia linjakokoonpanossa ilmeneviä ongelmia ja puuttua niihin kehittämällä keinoja tuotteiden kokoonpantavuuden kehittämiseksi ja huomioon ottamiseksi tuotekehityksen avuksi.

Työ tehtiin yhteistyössä Agco Power Oy:n kanssa. Lähdeaineistona on käytetty alan kirjallisuutta tuotekehityksen ja tuotannon aloilta. Lisäksi yrityksen puolelta oli tarjolla aineisto kehitettävistä tuotteista, henkilökuntaa haastateltavaksi sekä itse tuotteita tarkasteltaviksi.

Lähdeaineiston avulla kartoitettiin mahdollisia menetelmiä kokoonpantavuuden kehittämiseksi. Näistä valittiin yhteistyöyritykselle sopivimmat keinot joiden pohjalta pyrittiin niitä edelleen kehittämään ja soveltamaan yrityksen käyttöön. Kehityskohtia muodostui kolme: perinteiset DFA menetelmät, tuotteiston hallinta sekä tuotannon ja suunnittelun tiiviimpi yhteistyö. Lisäksi työssä käsiteltiin eri kokoonpanotekniikoita ja niiden luomia mahdollisuuksia ja rajoituksia, sekä kohdeyrityksen nykytilaa.

Kaikkiin kolmeen edellä mainittuun kohtaan nähtiin syytä suhtautua vakavasti. DFA-menetelmien tehokkaampaan hyödyntämiseen ehdotettiin muistilistojen käyttöä. Tuotteiston hallinnassa keskityttiin tuotteiston karsimiseen ja yhtenäistämiseen, jonka tavoitteena oli karsia kokoonpanoon syntyvien erilaisten asennustapahtumien määrää. Tärkeimmäksi kohdaksi valikoitui kuitenkin suunnittelun ja tuotannon välinen yhteistyö ja kommunikaation toimivuus. Näillä mahdollistetaan koko tuotanto organisaation mukana olo tuotteiden suunnittelussa. Muistilistojen toteuttaminen on kuitenkin niin helppoa, että niitäkään ei kannata jättää toteuttamatta.

ABSTRACT

LAURI UOTILA: Design of diesel engine for assembly
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 48 pages, 7 Appendix pages
May 2015
Master's Degree Programme in Mechanical engineering
Major: Production Engineering
Examiner: University lecturer Timo Lehtonen and Professor Kari T. Koskinen

Keywords: DFA, DFMA, Concurrent engineering

The main goal of this Master's thesis was to research problems of line assembly and to develop solutions for these problems by using design for assembly methods. This thesis was made in cooperation with Agco Power Inc.

Literature of product development and production was used as source material. Cooperation company also offered some material, interviews and products itself. With the source material possible solutions were found to develop design for assembly methods to solve the problems with the product.

Three main solutions were found. These are basic DFA methods, product range management and cooperation with product development and production.

All these three points are important. For better and more systematic use of DFA methods a checklist was proposed. In the product management area solution was to reduce and standardize the product range that reduces assembly actions in the production line. Last and the most important point is how the work is done, more specifically, the cooperation and the communication between the product development and production. With these points the whole organization can take part to product development. Checklists are also so simple to put into action that there is no reason to not to do them.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö sai lähtölaukauksensa Agco Power Oy:n tuotantotiloissa keväällä 2014, joissa työskentelin silloin osa-aikaisena linjakokoonpanijana. Kyselin valmistuspäällikkö Paavo Tannilta olisiko heillä tarjota diplomityötä minulle. Vastaus oli myöntävä, jos vain keksisin sopivan aiheen. Ehdotin muutamaa ideaa, joista tartuttiin ”DFA homma” nimiseen kohtaa. Siitä työni kehittyi pikkuhiljaa aina tähän pisteeseen saakka.

Yritys ja sen tuotteet olivat jo ennestään minulle jokseenkin tuttuja. Haluan kiittää Agco Powerin henkilökuntaa, joilta sain apua ja sisältöä työhöni. Haluan kiittää myös työni tarkastajia Timo Lehosta ja Kari T. Koskista TTY:n puolelta.

Tampereella 22.4.2015

Lauri Uotila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	I
ABSTRACT	II
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT	V
1 JOHDANTO	1
1.1 Yritysesittely	1
1.2 Tuotteen yleinen esittely	2
1.3 Ongelmat Agco Powerin kokoonpanossa	4
2 TEOREETTINEN OSUUS	6
2.1 Kokoonpano	6
2.2 DFMA	8
2.2.1 Tarkistuslistat.....	13
2.2.2 Boothroyd-Dewhurst DFMA.....	13
2.2.3 Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM)	16
2.2.4 Lucas DFA.....	17
2.3 Tuotteiston hallinta	17
2.3.1 Tuoteperhe	17
2.3.2 Systemaattinen uudelleenkäyttö	18
2.3.3 Tuotealusta	19
2.3.4 Modulaarisuus ja integraalisuus	20
2.3.5 Varioinnin hallinta	23
2.4 Tuotannon osa tuotekehityksessä	24
2.4.1 Rinnakkaissuunnittelu	25
2.4.2 Tuotteen linjaan tuonti	28
2.5 Tuotekehitysprosessi Agco Powerilla.....	29
3 SOVELTAVA OSUUS	31
3.1 DFA Soveltaminen	31
3.2 Tuotteen vakiointi.....	32
3.3 Tuotannon osa tuotekehityksessä	34
3.4 Case: Hihnavetoiset apulaitteet	36
3.4.1 Laturit	37
3.4.2 Vesipumppu.....	41
4 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET	45

LIITE 1: MUISTILISTA SUUNNITTELUUN KOKOONPANON HUOMIOON OTTAMISEKSI

LIITE 2: MUOTOILUOHJEITA PAHL & BEIZIN MUKAAN

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

CAD	Computer Aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu
DFA	Design For Assembly. Suunnittelua kokoonpanomyönteisesti
DFM	Design For Manufacturing. Suunnittelua valmistusmyönteisesti
DFMA	Yhdistää DFM:n ja DFA:n
EBOM	Engineering Bill of Materials, suunnittelun tuottama aineisto, mallit, piirustukset, jne
Jakopää	4-tahti moottorin pääty, jossa liike välitetään kampiakselilta nokka-akselille ja edelleen venttiileille synkronoidusti. Jakopää on moottorin etupää. Moottorin apulaitteet sijaitsevat usein jakopäässä.
RASKO	Raskas kokoonpano. Automatisoitu kokoonpanolinja Agco Powerin kokoonpanolinjan alussa

1 JOHDANTO

Sarjatuotannon omaisessa linjakokoonpanossa tuottavuus on tärkeässä asemassa. Eräs tuottavuuteen vaikuttava tekijä on tuote itse, kokoonpanon osalta tuotteen kokoonpantavuus. Tässä työssä paneudutaankin siihen, millä keinoin tuotteiden kokoonpantavuutta voitaisiin kehittää oman tuotannon tehostamiseksi.

Työ tehtiin yhteistyössä Agco Power Oy:n kanssa. Työn tavoitteena oli kehittää dieselmootoreiden kokoonpantavuutta, ja keskittyä erityisesti siihen, miten tuotekehitysosasto osaa ottaa kokoonpantavuuden paremmin huomioon moottoreita suunnitellessa. Tarkoituksena ei ollut siis kehittää itse moottoria, vaan keinoja sen kehittämiseen.

Johdannon aliluvuissa on esitelty lyhyesti Agco Power Oy yrityksenä sekä kerrottu hieman valmistettavista dieselmootoreista ja niiden rakenteesta. Lisäksi kartoitetaan hieman kokoonpanossa esiintyviä ongelmia.

Teoriaosuus alkaa kokoonpanon yleisestä teoriasta, jossa kerrotaan eri kokoonpanotekniikoista ja miten Agco Powerin kokoonpanossa toimitaan. Seuraavaksi käydään läpi varsinaiset kolme työn pääkohtaa: DFMA, Tuotteiston hallinta ja Tuotannon osa tuotekehityksessä. Ensimmäisessä käsitellään yleisiä DFA-sääntöjä, toisena tuotteiston vaikutusta kokoonpanoon ja viimeisenä siitä kuinka tuotannon ja tuotekehityksen yhteistyöllä voidaan saavuttaa etuja. Lopuksi käydään läpi vielä Agco Powerin tuotekehityksen yleinen tuotekehitysmalli.

Soveltavassa osassa käydään läpi edellisen kappaleen kolme pääkohtaa Agco Powerin näkökulmasta ja kuinka niitä voidaan soveltaa yrityksessä. Yrityksen puolelta työ haluttiin rajata käsittelemään moottorin hihnakäyttöisiä apulaitteita. Soveltavan osuuden viimeisessä luvussa onkin kaksi case-esimerkkiä latureista ja vesipumpusta. Luvuissa on esitetty erilaisia ehdotuksia, kuinka kyseisten komponenttien asentamista voidaan tehostaa.

Työn tekeminen alkoi sopivan kirjallisuuden etsinnällä. Kirjallisuustutkimuksen lisäksi sain tietoa erityisesti yrityksen asioista erinäisistä henkilökunnan haastatteluista. Myös oma työkokemus Agco Powerin kokoonpanolinjalta auttoi huomattavasti ratkaisujen ideoinnissa.

1.1 Yritysesittely

Agco Power on valmistanut dieselmootoreita Nokian Linnavuorella jo vuodesta 1942. Yrityksen omistaja ja nimi on tosin muuttunut vuosien varrella monesti. Viimeisimpänä

amerikkalainen Agco Corporation osti silloisen Sisu Dieselin vuonna 2004. Nimi vaihtui Agco Sisu Poweriksi vuonna 2008 ja Agco Poweriksi vuonna 2012. Linnavuoreessa valmistuu vuodessa parhaimmillaan noin 30000 dieselmoottoria ja henkilöstömäärä on noin 700. Agco Power valmistaa moottoreita myös Brasiliassa ja Kiinassa. (Agco 2009, Agco web 2014)

Dieselmoottoreiden lisäksi yritys valmistaa dieselgeneraattoreita ja -pumppuja, hammaspyöriä sekä vaihteistoja. Generaattorit ja pumput valmistetaan Genpowex yksikössä Tampereen Tesomassa. Hammaspyöriä valmistetaan sekä omaan käyttöön, että ulkopuolisille asiakkaille. Kappalemääräisesti Agco Power on suomen suurin hammaspyörävalmistaja, valmistaen yli miljoona hammaspyörää vuodessa. Linnavuoreessa toimii myös tuotehuolto, joka tehdaskunnostaa valmistamiaan moottoreita. (Agco 2009, Agco web 2014)

1.2 Tuotteen yleinen esittely

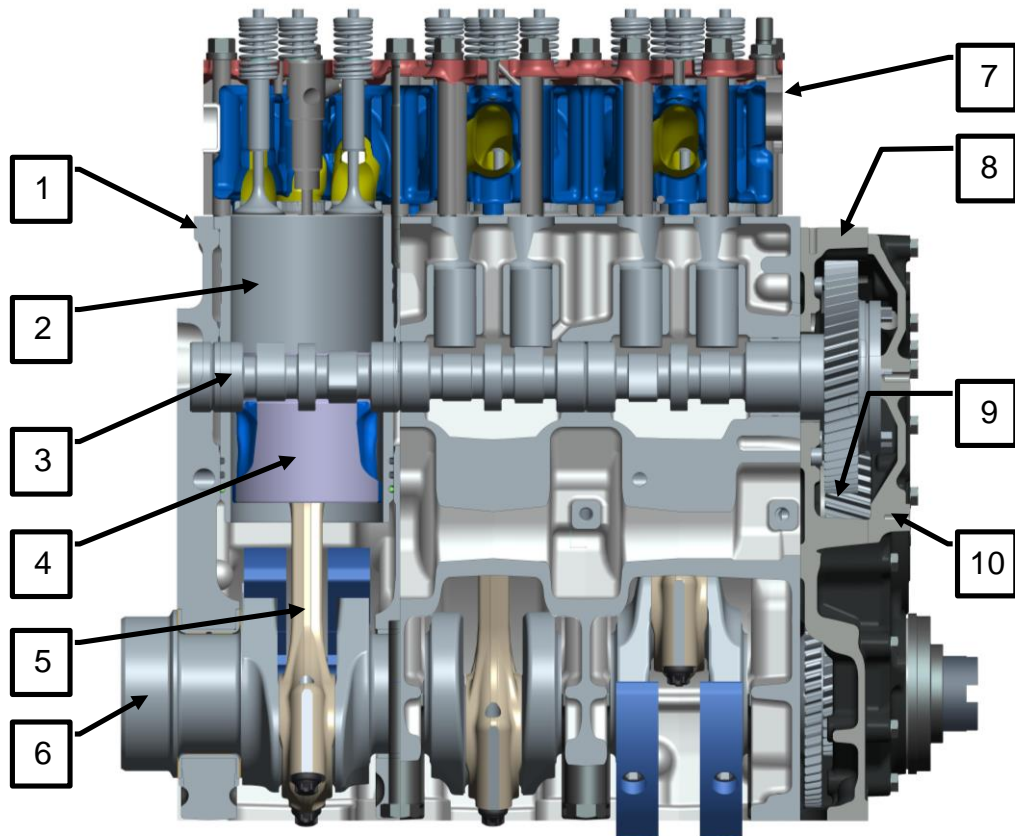
Agco Powerin Nokian Linnavuoreessa valmistamat dieselmoottorit on tarkoitettu off-road sovelluksiin. Näitä ovat mm. maatalouskoneet kuten traktorit, puimurit sekä erinäiset työkoneet kuten metsä- ja kaivinkoneet. Valmistettavien moottoreiden sylinteriluku vaihtelee kolmesta kahteentoista. Tuotannossa on 3-, 4-, 6-, 7- ja 12-sylinterisiä malleja ja iskuutilavuudet vaihtelevat 3,3 litrasta 16,8 litraan. Moottorien tehot vaihtelevat 44 kW:sta 475 kW:in. 12-sylinteristä V-moottoria lukuun ottamatta, moottorit ovat rivi-moottoreita. Samalla sylinterimäärällä on tarjolla eri iskuutilavuuksisia moottoreita. 3-sylinteristä mallia on vain 3,3-litrainen moottori. 4-sylinteristä on 4,4- ja 4,9-litraista mallia. Muutos on saatu aikaa iskunpituuden muutoksella. 6-sylinterisiä malleja on 6,6-, 7,4- ja 8,4-litraisia, joista viimeisessä myös männän halkaisijaa on kasvatettu. 7-sylinterinen moottori on 9,8-litrainen ja 12-sylinterisen iskuutilavuus on 16,8 litraa. 8,4-litralitraiset ja sitä suuremmat moottorit valmistetaan uudessa moottoritehtaassa ja **tässä työssä ei oteta kantaa niihin.**

Kaikki valmistettavat moottorit ovat pakokaasuahdettuja suorasuihkudieselmoottoreita. Osassa moottoreista polttoainejärjestelmä on toteutettu jakajapumpulla, mutta suurin osa käyttää nykyaikaista common-rail yhteispaineruiskutusta. Venttiilien määrä per sylinteri on joko 2 tai 4. Moottorit on varustettu alapuolisella nokka-akselilla, josta liike siirretään venttiilikoneistolle työntötankojen avulla. Kaikki jakopään toiminnoista on toteutettu hammaspyörävedolla. (Jakopää on 4-tahti moottorin pääty, jossa liike välitetään kampiakselilta nokka-akselille ja edelleen venttiileille. Jakopää on moottorin etupää. Moottorin apulaitteet sijaitsevat usein moottorin jakopään päädyssä.) Hihnakäyttöisiä apulaitteita jakopään kotelossa on generaattori, vesipumppu ja ilmastoinnin kompressor.

Tiukentuneet päästö määräykset ovat ajaneet siihen, että moottorin ympärille tulevien varusteiden määrä on kasvanut. Uusimmissa malleissa voi olla kaksi ahdinta, nestetoi-

minen välijäähdyn ja pakokaasun takaisinkiertäysjärjestelmä. Jokainen laite vaatii myös telineen, ahtimet vaativat voiteluöljyputkistot, välijäähdyn vaatii vesiputkituksia yms. Varusteiden määrä on siis erittäin suuri ja on lisännyt kokoonpanon taakkaa.

Kuvassa 1 on poikkileikkaus Agco Powerin 3-sylinterisen moottorin perusrakenteesta.



Kuva 1. Poikkileikkaus Agco Powerin 3-sylinterisen moottorin perusrakenteesta

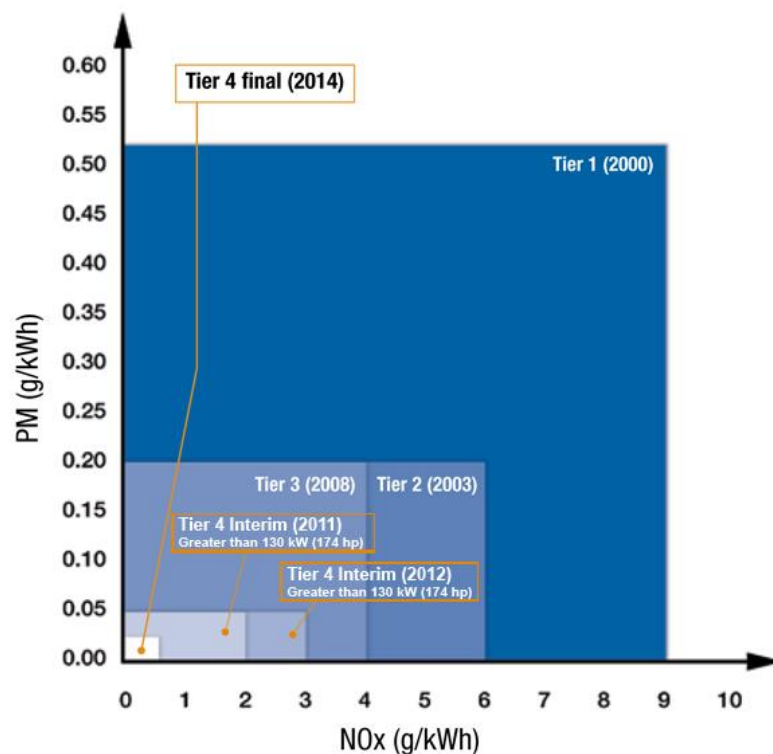
Seuraavassa luettelossa on moottorin perusrakenteen osat. Numeroinneilla on viitattu kuvaan 1.

1. Moottorin lohko
2. Sylinteriputki
3. Nokka-akseli
4. Mäntä
5. Kiertokanki
6. Kampiakseli
7. Sylinterin kansi
8. Hammaspyöräkotelo
9. Jakopään hammaspyörät
10. Hammaspyöräkotelon kansi

Tämä sama perusrakenne toistuu kaikissa Agco Powerin rivimoottoreissa skaalautuen eri sylinterilukuihin ja iskutilavuuksiin.

1.3 Ongelmat Agco Powerin kokoonpanossa

Agco Powerin kokoonpanolinjassa eniten haastetta tuottaa tuotevariaatiot ja siitä johtuvat ongelmat tuotantolinjan tasapainottamisessa. Tällä hetkellä tuotannossa on niin paljon toisistaan poikkeavia malleja, että vaiheiden tasapainottaminen ja sujuvan tuotannon suunnittelu on erittäin vaikeaa. Jatkuvasti tiukentuvien päästömääräysten (Kuva 2) johdosta on uusia tuotteita tullut tuotantoon tiiviillä tahdilla. (Palonen 2014)



Kuva 2. Off-road moottoreiden päästömääräysten tiukentuminen (cms 2014)

Osa vanhoista malleista on kuitenkin pysynyt rinnalla tuotannossa, sillä päästömääräykset vaihtelevat teholuokkien ja kohdemaan mukaan. Tiukimmat päästömääräykset ovat voimassa EU:ssa (Stage 4) sekä USA:ssa (Tier 4 final). Tiukentuneet päästömääräykset ovat pääsääntöisesti lisänneet moottorin komponenttimäärää, joka tietysti lisää kokoonpanon kuormitusta. Toisaalta linjassa on myös vähemmän komponentteja sisältäviä vanhempia malleja.

Lisäksi komponenttimäärään vaikuttavat myös asiakkaan toiveet. Esimerkiksi joihinkin malleihin asennetaan kaksi laturia ja kompressori, ja toiseen malliin ei tule edes yhtä laturia sillä asiakas haluaa varustella moottorinsa itse tai laturi kiinnitetään moottorin sijasta työkonen runkoon. On siis ilmeistä, että moottorien vaihteleva varustetaso

hankaloittaa linjan tasapainotusta ja tekee tehokkaasta työskentelystä lähes mahdotonta. (Palonen 2014)

Toinen ongelma on todella suuri osamäärä. Moottorivariaatioiden suuren määrän lisäksi on niissä käytettävien nimikkeiden määrä myös erittäin suuri. Osien järkevä varastointi ja niiden asennuspaikalle tuominen on erittäin hankalaa. Tilojen ahtaus pahentaa tilannetta entisestään. Helpotusta tähän on pyritty tuomaan luvussa 2.1 kerrotuilla varastoautomaateilla sekä supermarketilla. Varastoautomaateissa esiintyvät viat kuitenkin vaikuttavat suoraan linjan toimintaa ja puuttuva osa pysäyttää koko linjan. Apua tilanahtautteen on tuonut suurimpien moottorien kokoonpanon siirto uuteen tehtaaseen. (Palonen 2014)

Laaja tuotevalikoima ja suuri osamäärä vaikeuttavat myös itse kokoonpanotehtävää, koska opeteltavaa on paljon. Samalla vaiheella tehtävä työ voi vaihdella suuresti moottorista riippuen. (Palonen 2014)

2 TEOREETTINEN OSUUS

Tämä luku käsittelee Agco Powerin kokoonpanon ja suunnittelun nykytilaa yhdistäen sen taustalla oleviin teorioihin. Aliluvuissa käsitellään erinäisiä tuotannon ja tuotekehityksen teorioita sekä tarkastellaan kuinka ne Agco Powerilla toteutuvat käytännössä. Tietosuojaesitystä tiettyjä yksityiskohtaisia tietoja on jätetty kertomatta.

2.1 Kokoonpano

Kokoonpano on yksinkertaisesti osien liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi. Käytännössä kokoonpanotyö on paljon muutakin kuin osien liittämistä. Se on esimerkiksi osien siirtämistä, etsimistä ja sovittamista. Kuitenkin vain osien liittäminen on tuotetta jalostavaa ja arvoa lisäävää työtä ja loput aiheuttavat vain aikaviivettä ja kustannuksia ja ne tulisi minimoida. Nämä muut työt voivat olla kuitenkin välttämättömiä, jotta kokoonpano on mahdollista. Välttämätöntä jalostamatonta työtä voi olla esimerkiksi erinäiset tarkastukset, materiaalin ja tuotteen siirrot sekä valmisteluajat. Tarpeetonta työtä ovat kuitenkin erilaiset häiriöt, odottelut sekä työkalujen ja osien etsiminen (Lapinleimu 1997; Tekes 2001)

Tuotteen valmistusajasta noin 20–40% voi kulua kokoonpanoon. Tekesin raportin (2001) mukaan suunnitellusta kokoonpanoajasta noin neljännes kuluu häiriöihin ja toinen neljännes taukoihin ja odotteluun. Tekemiseen käytetään siis vain noin puolet ajasta. Tästäkin ajasta vain noin 10–25% on tuotetta jalostavaa työtä. ”Syyt kokoonpanon suureen osuuteen tuotteen kustannuksista eivät aina johdu itse kokoonpanosta, vaan periytyvät sitä edeltävistä vaiheista, joissa ei ole otettu kokoonpanoa riittävästi huomioon.” (Lapinleimu 1997)

Kokoonpanotekniikan jaetaan yleisesti kolmeen ryhmään: jäykkä automaatio, joustava automaatio sekä manuaalinen kokoonpano (Lapinleimu 1997). Agco Powerilla on käytössä kaksi viimeksi mainittua. Jäykkä automaatio soveltuu hyvin yksinkertaisille ja suurilla sarjoilla valmistettaville tuotteille näille erikseen suunnitelluilla koneilla. Joustava automaatio taas soveltuu tuoteperheen kokoonpanoon, joissa on pieniä variaatioita. Joustava kokoonpanolinja räätälöidään tuotetta varten ja se koostuu kuljetuslaitteista, varastoautomaateista yms. Keskeisimmät komponentit ovat kuitenkin teollisuusrobotit joiden joustavuuteen koko automaatiojärjestelmän joustavuus perustuu. (Tekes 2001)

Agco Powerilla joustavaa automaatiota on sovellettu kokoonpanolinjan alkupäässä, ras-
kaassa kokoonpanossa (RASKO). Tässä osassa asennetaan moottorilohkoon sylinteri-
putket, kampiakseli, männät, nokka-akseli, jakopään hammaspyörät, hammaspyöräkote-

lo sekä sylinterinkannet. Vaikka erilaisia moottorivariaatioita on lukematon määrä, on moottoreiden perusrakenne näiltä osin hyvin samankaltainen ja joustavaa automaatiota pystytään hyödyntämään. RASKO koostuu kuudesta solusta. Ensimmäisessä kiinnitetään kampiakseli ja sylinteriputket, toisessa vaiheessa kootaan männät ja kiertokanget kokonaisuuksiksi, kolmannessa vaiheessa asennetaan mäntä-kiertokanki-kokonaisuudet ja jakopään hammaspyöräkotelo. Neljännessä vaiheessa asennetaan jakopään hammaspyörät, nokka-akseli ja hammaspyöräkotelon kansi. Viimeisessä vaiheessa asennetaan vielä sylinterikannet, jotka on koottu aiemmin toisaalla. Moottoria liikuttaa solujen välillä portaalirobotti. Yhteensä soluissa toimii 14 nivelrobottia. RASKO:n käsittelyn jälkeen moottori nostetaan välivarastoon josta niitä syötetään myöhemmin eteenpäin.

Agco Powerin kokoonpanolinjan loppuosalla sovelletaan koneenrakennuksessa perinteisesti käytettyä manuaalista kokoonpanoa. Manuaalinen kokoonpano soveltuu pienten sarjojen sekä, tässä tapauksessa, hyvin monimutkaisten tuotteiden kokoonpanoon. Kokoonpanijoilla on käytössään perinteisiä, yksinkertaisia työkaluja sekä sähköisiä ja pneumaattisia ruuvinvääntimiä.

Kokoonpanojärjestelmät voidaan jakaa kahteen osaan: paikka- ja linjakokoonpano. Paikkakokoonpanossa tuote kootaan samassa paikassa alusta loppuun, joko yhden tai useamman työntekijän toimesta. Tämä soveltuu yksittäis- tai pienerätuotantoon ja silloin kun tuote on todella suuri ja sitä on vaikea liikuttaa. Työ on joustavaa, sillä tuotetta voi koota vaihteleva määrä henkilöitä tai montaa tuotetta voidaan koota rinnakkain. Ongelmaksi muodostuu se, että kaikkia osia ja työkaluja ei voida säilyttää kokoonpantavan tuotteen läheisyydessä, vaan ne on haettava kauempaa, jolloin tuottavan työn määrä kärsii. (Lapinleimu 1997)

Kokoonpanolinja, jossa kokoonpantava tuote liikkuu ja työkalut sekä osat pysyvät paikallaan, poistaa edellisessä kappaleessa mainitut ongelmat. Nyt osat mahtuva lähelle työpistettä ja ovat käden ulottuvilla. Myös työn ergonomia saadaan paremmaksi kun osat ja työkalut voidaan sijoittaa tiettyä työvaihetta ajatellen. (Lapinleimu 1997) Agco Powerilla erilaisten asennettavien osien määrä on kuitenkin niin suuri, etteivät ne mahdu edes linjaan perinteisille hyllyille. Tästä syystä paino.tty@juvenesprint.fi on linjaan asennettu varastoautomaattitorneja, jotka tuovat tarvittavat osat kokoonpanopaikalle, kun niitä tarvitaan. Viat automaateissa vaikuttavat kuitenkin suoraan linjan tuottavuuteen. Osassa linjaa osia ei olekaan sijoitettu linjaan vaan sen viereen ”Supermarkettiin”, josta keräilijä hakee tarvittavat osat osavaunuun. Vaunu kiinnitetään moottoreita kuljetaviin vihivaunuihin ja osat kulkevat kokoonpantavan tuotteen mukana ja kokoonpanopaikoilla on vain kiinnitystarvikkeet ja työkalut yms. Tilanahtauden lisäksi tämä poistaa osien etsimisen vaiheilla, kun saatavilla on vain oikeat osat.

Linjakokoonpanossa työntekijät voivat joko liikkua tuotteen mukana linjalla tai pysyä paikallaan omissa työpisteissään. Kun työryhmä liikkuu tuotteen mukana alusta loppuun, pystyvät he vastamaan koko tuotteen laadusta. Tämä, kuten paikkakokoonpano,

vaatii työntekijöiltä paljon ammattitaitoa, jotta tuote pystytään kokoamaan nopeasti ja virheettömästi alusta loppuun. (Lapinleimu 1997) Agco Powerilla on käytössä jälkimmäinen, liukuhihnamainen järjestelmä. Tässä työntekijä pystyy keskittymään rajattuun osaan kokoonpanoa, jonka seurauksena työstä muodostuu erittäin rutiininomaista ja ripeää. Uuden työntekijän kouluttaminen vaiheelle on myös erittäin nopeaa, koska opimista on vähän.

Rutiininomainen työ voi muodostua myös ongelmaksi, sillä se on yksitoikkoista ja työntekijän tarkkaavaisuustaso laskee, joka johtaa virheisiin asennustyössä. Linjakokoonpano on herkkä virheille, kuten osapuutteille ja muille hidasteille, sillä kun yksi asema pysähtyy, pysähtyy kaikki sitä edeltäneetkin asemat. Kokoonpanolinjan vaiheajojen tasapainottaminen on myös tärkeää, jotta jokainen asema pystyy toimimaan tehokkaasti, eikä esimerkiksi jokin asema joudu odottamaan muiden vaiheiden valmistumista. Jos linjassa kokoonpannaan useita eri tuotevariaatioita, on niiden sovittaminen linjaan tärkeää ja myös erittäin haastavaa. (Lapinleimu 1997)

Agco Powerin kokoonpanolinjassa tehdään 3-, 4 ja 6-sylinterisiä moottoreita, joista jokaisesta lukuisia konfiguraatioita. Kokoonpanolinjan suurin haaste onkin juuri suuri moottorivariaatioiden suuri määrä ja tästä johtuvat linjan tasapainotusongelmat (Palo-
nen 2014).

Linjakokoonpanon voi jakaa vielä tahti- ja epätahtilinjaan. Tahtilinjassa kokoonpanovaiheiden välillä ei ole puskuria tai välivarastoja, vaan kokoonpantava tuote siirtyy suoraan vaiheelta toiselle. Tällöin linjan hitain vaihe määrää tahdin. Epätahtilinjassa vaiheiden välillä on pieni puskuri. Tämä sallii vaiheajojen pienen vaihtelun vaiheilla, ja linjasta saadaan joustavampi. Tästä on etua jos linjalla valmistetaan toisistaan poikkeavia tuotteita kuten Agco Powerilla, jonka linja onkin epätahtilinja. Vaiheen keskimääräinen vaiheaika tulisi kuitenkin olla jokaisella vaiheella sama, jotta linja toimisi hyvin. Epätahtilinjan huonoja puolia verrattuna tahtilinjaan ovat pidempi läpäisy aika ja välivarastojen sitoma pääoma sekä tuotantotila. (Lapinleimu 1997)

2.2 DFMA

1980-luvulla alkoi yleistyä systemaattinen valmistusystävällinen suunnittelu. 80-luvun loppupuolelle asti tekniikat keskittyivät lähinnä osavalmistukseen. DFMA (Design for manufacturing and assembly) -tekniikka sen sijaan kiinnittää huomiota tuotekokonaisuuteen. DFMA koostuu kahdesta osasta: DFM (Design for manufacturing) ja DFA (Design for Assembly), joista ensimmäinen keskittyy osien valmistettavuuteen suunnittelussa ja toinen kokoonpantavuuden huomioon ottamiseen suunnittelussa. Teknikoita käytetään pääosin yhdessä osaoptimoinnin välttämiseksi. (Lapinleimu 2000)

DFA-ideologiaa on lähdetty kehittämään automaattisen kokoonpanon myötä. DFA työkalut ovatkin pääosin suunniteltu juuri automaattista kokoonpanoa silmällä pitäen.

Usein on kuitenkin eduksi toteuttaa kokoonpano automaattisen kokoonpanon ehdoilla vaikka kyseessä olisi manuaalinen kokoonpano, sillä ne helpottavat myös manuaalista kokoonpanoa. Myös mahdollinen automaattiseen kokoonpanoon siirtyminen helpottuu tulevaisuudessa. (Lapinleimu 2000)

DFMA-pääajatus voidaan kiteyttää seuraaviin kohtiin (Boothroyd et Al. 1992):

- Tuotteen yksinkertaistaminen
- Osien lukumäärän minimointi
- Osien suunnittelu valmistusmenetelmille ja koneille soveltuviksi
- Osien oikea muotoilu kokoonpanon helpottamiseksi

Pahl & Beiz (Pahl & Beiz 1990) ovat samoilla linjoilla. Heidän mukaansa asennusmyönteinen kokoonpanorakenne saadaan aikaan:

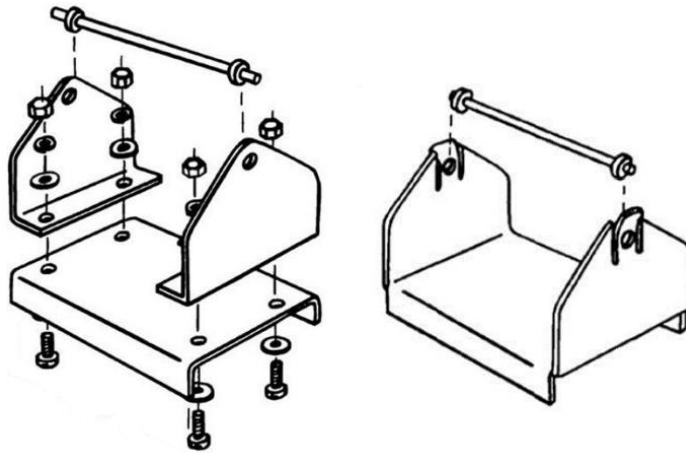
- Jäsentämällä
- Vähentämällä
- Yhtenäistämällä
- Yksinkertaistamalla

Osien lukumäärän minimointiin liittyen Boothroyd et al. (1994) määrittää lisäksi 3 kriteeriä, jotka oikeuttavat erillisen osan suunnitteluun:

- Osan on liikuttava muuhun kokoonpanoon nähden
- Osan on oltava eri materiaalia
- Osan on oltava erillinen kokoonpano tai sen on oltava purettavissa esimerkiksi kuluneen osan vaihtoa varten

Useimmiten yhdistämisellä saavutetaan kustannussäästöjä ja sillä voidaan välttyä mm. liitospintojen koneistamiselta, osien yhdistämisestä kokoonpanossa, sekä liitososien hankkimiselta, jolloin saavutettu etu on selkeä. (Lapinleimu 2000) Suuri etu Agco Powerin kannalta on nimikkeiden vähentyminen, varastoinnin ja linjalle saattamisen helpottuminen. Olisi nimenomaan syytä yhdistää yhteen osaan mahdollisimman monta toimintoa. Liitos rakenteessa on aina laaturiski. Ei pidä suunnitella osaa jonka voi ostaa luettelotavarana. Ruuvien ja muiden standardituotteiden kanssa on pyrittävä käyttämään mahdollisimman paljon samanlaisia tuotteita, jotta esimerkiksi kokoonpanopaikoilla käytettävät erilaiset kiinnitystarvikkeet pysyvät minimissä. Osia voidaan vähentää myös käyttämällä samaa osaa monessa eri paikassa. Suuremmilla sarjoilla saadaan myös osan hintaa alas. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

Kuvasta 3 kiteytyy hyvin kuinka yksinkertaisella rakenteella monimutkainen kokoonpano voidaan korvata parhaimmillaan. Eräs helppo osien vähennys kohde on ruuvien aluslevyt, jotka voidaan integroida ruuviin tekemällä sen kannasta leveämpi. (Lempiäinen & Savolainen 2003)



Kuva 3. Esimerkki osien vähentämisestä (muokattu lähteestä Boothroyd 1987)

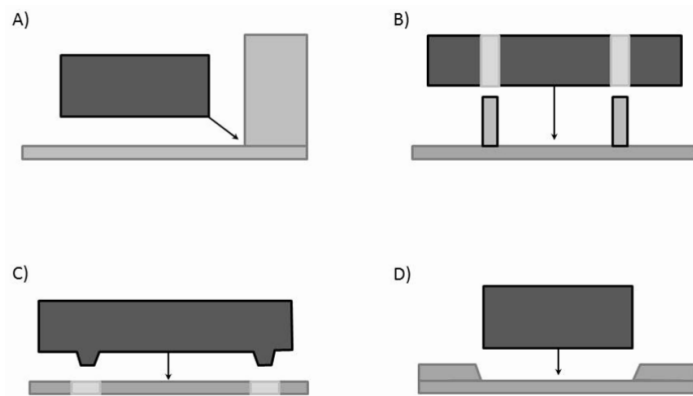
Osien määrän minimointi ei ole kuitenkaan aina kustannuksia laskeva tekijä, sillä monen yksinkertaisen osan yhdistäminen yhdeksi monimutkaiseksi osaksi voi nostaa osan valmistuskustannukset niin korkeiksi, että sillä saavutetut hyödyt jäävät olemattomiksi. (Lapinleimu 2000)

Suunnittelulla voidaan vaikuttaa myös siihen, kuinka helppoa tai selkeää osan paikoilleen asettaminen on. Tätä voidaan auttaa muun muassa symmetrian avulla niin, että osa sopii paikoilleen kumminpäin vain. Tällöin myös oikea-/vasenkätiset kappaleet eliminoiduu. Hankalin tapaus on tehdä kappaleesta lähes symmetrinen niin, että asentaja saattaa helposti asentaa osan epähuomiossa väärinpäin (Kuva 4). (Lempiäinen & Savolainen 2003)



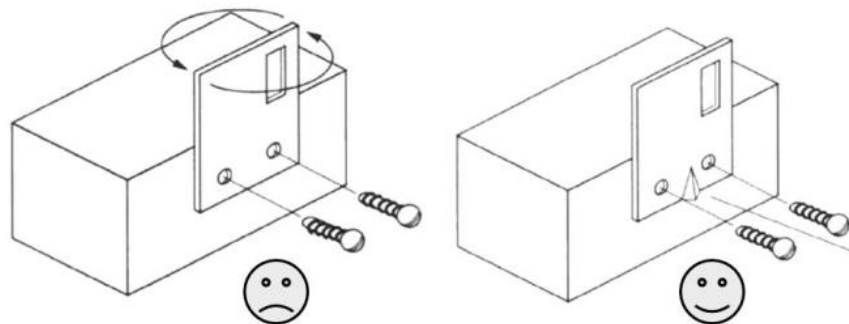
Kuva 4. Lähes symmetrinen laturin kiinnike

Osien asemointiin olisi myös hyvä helpottaa osien muotoilulla. Osista tulisi tehdä sellaisia, että ne hakeutuvat luonnostaan oikealle paikalle (Kuva 5). Osien paikoilleen soveltamista tulisi välttää. Paikoittaminen pelkkien ruuvien avulla voi olla hankalaa ja reiän löytäminen haasteellista. Osan paikoittamista voidaan helpottaa myös osissa olevilla merkinnöillä kuten ”ylös” ja ”etupuoli”. Luontainen kokoonpano suunta on ylhäältä alas suoraviivaisella liikkeellä. (Lempiäinen & Savolainen 2003)



Kuva 5. Osien paikottuminen (Muokattu lähteestä: Lempiäinen & Savolainen 2003)

Oikein asennusta voidaan helpottaa tekemällä osasta sellainen, ettei sitä voida asentaa väärinpäin esimerkiksi lisäämällä siihen lisäpiirre kuten kuvassa 6.



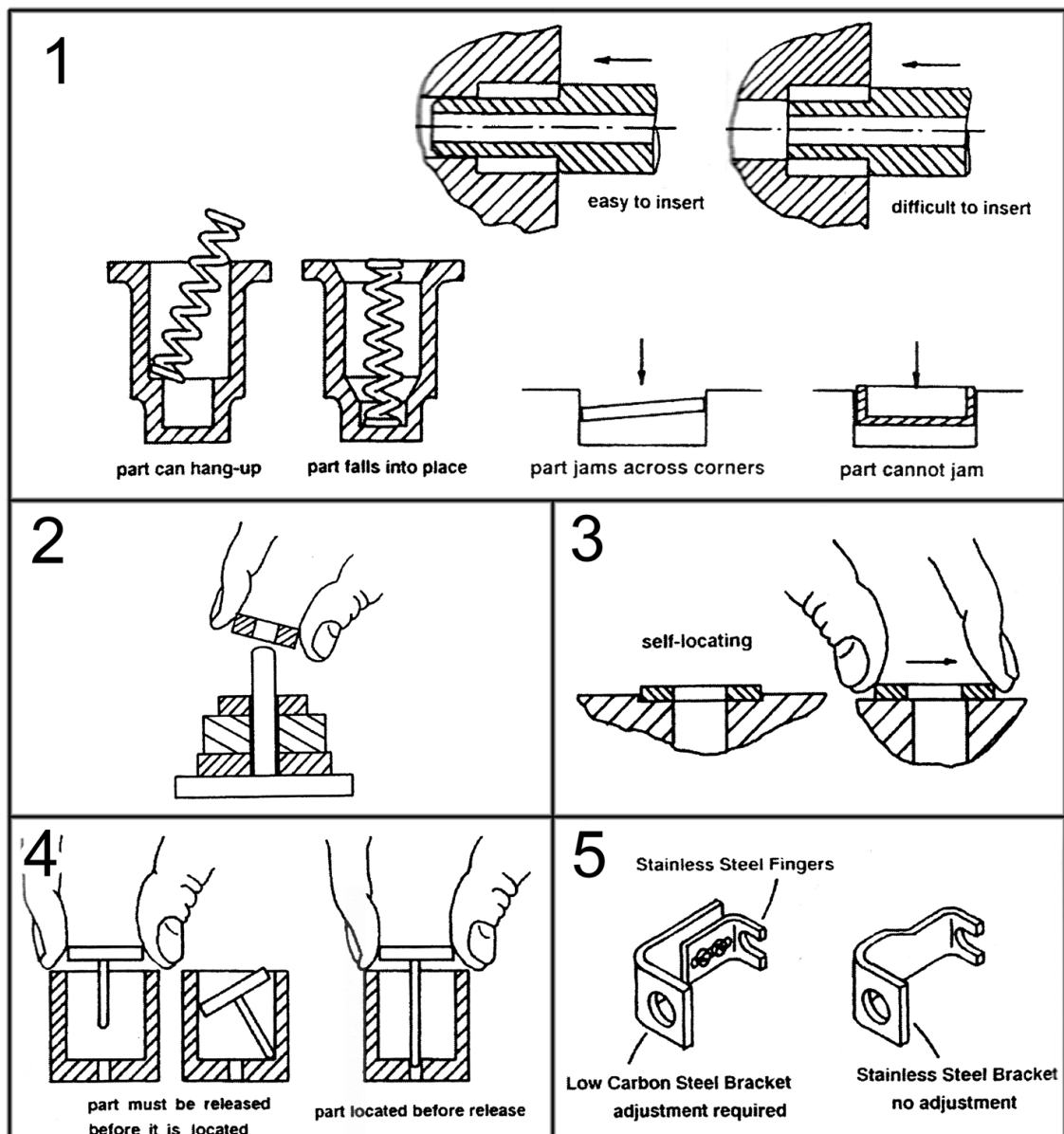
Kuva 6. Lisäpiirre asennettavassa osassa estää sen väärin asentamisen (Muokattu lähteestä Järvenpää 2011)

Usean osan sovittaminen yhtä aikaa on hankalaa. Ihmisellä on vain kaksi kättä ja se tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Toisella kädellä pidellään osaa ja toisella tehdään liitos. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

DFA työkalut pitävät ruuviliitosta usein huonona liitostyyppinä, koska se vaatii ruuvin lisäksi aina reiän. Lisäksi tarvitaan usein myös mutteri ja aluslevy. Liitoksen kiinnittämiseksi tarvitaan myös työkaluja. Suositeltavia vaihtoehtoja ovat mm. napsautusliitos joka ei vaadi erillisiä osia eikä työkaluja, mutta se on heikko ja vaikeasti purettavissa. Myös liimaliitosta suositellaan laajan kiinnityspinta-alan ja korroosiosuojan vuoksi, mutta se on hidas ja lähes mahdoton purkaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003) Moottorikokoonpanossa ruuviliitos on kuitenkin lähes ainoa vaihtoehto, sillä sen etuja ovat hyvä voiman tuotto, sekä purettavuus. Nämä ovat usein miten välttämättömiä ominaisuuksia moottorin osille.

Boothroyd (1994) esittelee kirjassaan myös seuraavan laisia ohjeita manuaaliselle kokoonpanolle. Listan numerot viittaavat kuvan 7 numerointiin.

1. Osien tulisi ohjautua paikoilleen esimerkiksi viisteiden avulla, eikä vastustaa paikoilleen menoa
 2. Käytä pyramidi rakennetta. Osat on helpointa koota saman akselin ympärille ylhäältä alas.
 3. Osan tulisi pysyä paikoillaan pitämättä, ennen kuin se erikseen kiinnitetään tai kokoonpanoon lisätään toinen osa.
 4. Osat tulisi olla tukevasti paikoilleen, ennen kuin niistä tarvitsee päästää irti. Osien tiputtelu paikoilleen on epävarmaa.
 5. Vältä ylimääräistä säätöä
 6. Vältä kokoonpanon kääntelyä kokoonpanon aikana ja pyri kokoamaan tuote yhdestä suunnasta.
- (Pulkkinen & Riitahuhta 2002)



Kuva 7. Esimerkkejä DFA ohjeista (muokattu lähteestä: Boothroyd 1994)

Kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden arvioimiseksi on kehitetty erinäisiä menetelmiä. Ohjelmistopohjaisista menetelmistä tunnetuimmat ovat Boothroyd-Dewhurst DFMA, Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM) ja Lucas DFA. Yksinkertaisempi vaihtoehto on käyttää tarkistuslistoja. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

2.2.1 Tarkistuslistat

Tarkastuslistat ovat yksinkertainen tapa tutkia laitteen kokoonpantavuutta. Tarkastuslistat ovat myös loputtoman joustavia ja muokattavissa yrityksen omiin tarpeisiin. Valmiita tarkistuslistapohjia on olemassa niin manuaaliselle kuin automatisoiduillekin. Lempiäinen ja Savolainen (2003) ovat luoneet seuraavanlaisen tarkistuslistan:

1. Voidaanko osien määrää tuotteessa vähentää?
2. Voidaanko osia yhdistää käyttämällä kehittyneitä tuotantomenetelmiä?
3. Onko tuote jaettu osakokoonpanoihin?
 - a. Millä perusteella jako on tehty?
 - b. Onko osakokoonpanoissa useampi kuin yksi asennussuunta?
 - c. Onko osakokoonpanoissa irtonaisia osia?
4. Voidaanko kaikki osat kokoonpanna suoraviivaisella liikkeellä?
5. Voidaanko kaikki osat kokoonpanna suoraviivaisella liikkeellä ylhäältä alas?
6. Tarvitaanko erillisiä liitososia?
 - a. Kuinka monta?
 - b. Ovatko ne samanlaisia?
 - c. Voidaanko niiden määrää vähentää?
 - d. Voidaanko ne vaihtaa automaattiseen kokoonpanoon paremmin soveltuviksi?
7. Voidaanko liitosten määrää vähentää?
8. Onko jokaisessa kokoonpanossa selkeä runko-osa?
9. Täytyykö tuote kokoonpanon jälkeen testata?
 - a. Miten testaus suoritetaan?
10. Onko osat mitoitettu siten, että toleranssit eivät summaudu?

Kyseinen lista on suunniteltu sähkömekaanisen laitteen kokoonpanon tarkasteluun. Tarkistuslistat toimivat hyvin pienempien tuotteiden, osa- tai loppukokoonpanoille. Monimutkaisen tuotteen kohdalla tarkistuslistojen käyttö voi olla aikaa vievää puuhaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

2.2.2 Boothroyd-Dewhurst DFMA

Boothroyd-Dewhurst DFMA menetelmässä arvioidaan osien välistä kokoonpanoa sekä osien käsittelyn kustannuksia. Menetelmä soveltuu niin manuaaliselle kuin automaattisellekin kokoonpanolle. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään kokoonpanotekniikka. Toisessa vaiheessa poistetaan turhat osat kokoonpanosta tarkastelemalla voidaanko osia yhdistää tai poistaa kokonaan. Kolmannessa vaiheessa tutkitaan kokoonpano-olosuhteita ja lasketaan kokoonpanotyölle kokoonpanoaika, joka sisältää käsittely ja

asetusajan. Lopuksi vertaillaan toteutuneita aikoja ihanteisiin. Aika on selkeä käsite ymmärtää kokoonpanon vaikeus tai helppous. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

Kokoonpanotekniikan valinnan jälkeen menetelmä lähtee liikkeelle tuotteen osien analysoinnista. Jokainen osa analysoidaan erikseen. Ensimmäiseksi arvioidaan osan tarpeellisuutta. Osa on tarpeellinen jos se läpäisee jonkin seuraavista ehdoista. Tällöin osa saa arvon 1, muutoin 0. (Boothroyd et al. 1994)

- Osan on liikuttava muuhun kokoonpanoon nähden
- Osan on oltava eri materiaalia
- Osan on oltava erillinen kokoonpano tai sen on oltava purettavissa esimerkiksi kuluneen osan vaihtoa varten

Tämän tarkastelun pohjalta voidaan muodostaa teoreettinen osien minimilukumäärä N_{\min} . Luku on edellä saatujen arvojen summa. Tähän summasta saatuun arvoon ei todellisessa tuotteessa päästä juuri koskaan, mutta sitä voidaan pitää tietynlaisena tavoitteena, jota lähestytään. (Boothroyd et al. 1994)

Seuraavaksi tarkastellaan osien käsiteltävyyttä. Osan käsiteltävyyteen vaikuttaa sen keveys, koko, muoto ja osan symmetrisyys. Näiden perusteella voidaan kullekin osalle muodostaa käsittelyaika. Taulukossa 1 on esimerkiksi manuaalisen käsittelyn arvioituja aikoja. (Boothroyd et al. 1994)

Taulukko 1. Osien manuaalisen käsittelyn aika-arvioita (Boothroyd et al. 1994)

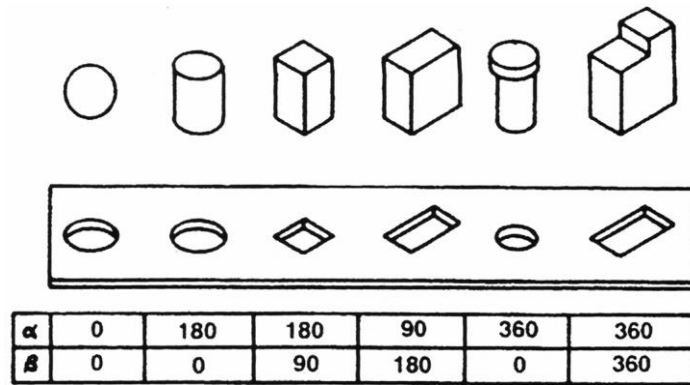
MANUAL HANDLING-ESTIMATED TIMES (s)

Key:

One hand

		Parts are easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties (1)					
		Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm		Thickness >2 mm			Thickness ≤2 mm		
		Size >15 mm	6 mm ≤ size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	(α+β) < 360°	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	360° ≤ (α+β) < 540°	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
		2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	540° ≤ (α+β) < 720°	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4
	(α+β) = 720°											

Taulukosta 1 saadaan osien käsittelyaikoja kun osaa voidaan käsitellä yhdellä kädellä. Jos osaa joudutaan käsittelemään kahdella kädellä, käytetään korjauskerrointa 1,5. Vasemmassa sarakkeessa olevat asteluvut kuvaavat kuinka paljon kappaletta joudutaan maksimissaan kääntämään, jotta osa saadaan oikeaan asentoon. Kuvassa 8 on havainnollistettu kuinka kulmat muodostuvat. (Boothroyd et al. 1994)



Kuva 8. Kappaleiden alfa- ja betasymmetrisyys (Boothroyd et al. 1994)

Kuvan 8 alfa-luku kuvaa kuinka monta astetta kappaletta on maksimissaan kierrettävä vaaka-akselin ympäri, jotta osa on oikeassa asennossa. Beta-luku kertoo vastaavasti pystyakselin ympäri kierrettävän liikkeen suuruuden. (Boothroyd et al. 1994)

Osien asennusaikojen arvioitiin tarjotaan myös erinäisiä taulukoita ja kuvaajia. Kiinnitysaikaan vaikuttaa mm. kiinnityskohdan näkyvyys ja saavutettavuus, paikalleen asettamisen vaivattomuus, kiinnitysvälineen helppokäyttöisyys, vaadittava tarkkuus, ja kiinnityskohdan syvyys. Taulukossa 2 on esimerkkinä manuaalisen asennuksen aika-arvioista. (Boothroyd et al. 1994)

Kokoonpanon vaikeutta arvioidessa jokaisen osan kohdalle kirjataan ylös mitä sille tehdään asennusprosessin aikana. Kaikesta muusta kuin ylhäältä alas suutautuvasta liikkeestä saa virhepisteitä. Pistelaskenta aloitetaan sadasta josta vähennetään virhepisteitä taulukoiden mukaan. Kaikkien osien pisteistä lasketaan keskiarvo. Ihanne tulos on luonnollisesti 100 ja hyvänä arvona pidetään yli 80 olevaan arvoa. Kustannussuhde (K) vertailee uuden kokoonpanon aiheuttamia kustannuksia vanhan tuotteen kustannuksiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

2.2.4 Lucas DFA

Lucasin toiminnallisuusanalyysissä tuotteille muodostetaan vaatimuslista. Kun vaaditut ominaisuudet ovat selvillä, tehdään tuotteelle toiminnallinen analyysi. Siinä tarkastellaan jokaisen osan liike-, materiaali-, ja kokoonpanovaatimukset. Tämän jälkeen osat jaetaan A (välttämätön) ja B (ei-välttämätön) osiin. Tuloksena saadaan suunnittelutehokkuus seuraavasta kaavasta. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

$$DE = \frac{A}{A + B} \times 100$$

Hyvä suunnittelusuhde saadaan siis, kun A osia on suhteessa paljon B osiin. Eli tarpeellisia osia on paljon ja tarpeettomia vähän.

2.3 Tuotteiston hallinta

”Koneenrakennuksessa tuotteen on oltava konfiguroitavissa. Tällä eliminoidaan asiakaskohtainen suunnittelu. Konfiguroitavuus saavutetaan parhaiten modulaarisella tuoterakenteella” (Lapinleimu 2000)

2.3.1 Tuoteperhe

Tuoteperhe on joukko tuoteyksilöitä (Tichem 1999), joilla on samanlaisia ja erilaisia ominaisuuksia. Tuoteperheen jäsenet koostuvat peruselementeistä, että varioituvista elementeistä. Tärkeimpiä tuoteperheen ominaisuuksia ovat: auttaa varianttien tuottamisessa, tuottaa suunnitteluratkaisusta yhtäläisiä tai keskenään samanlaisia, siirtää vakiosuunnitelmia tuotteiden välillä ja uudelleen käyttää suunnitelmia. (Huhtala 2009)

On neljä tapaa luokitella tuotteen varioituvuutta. Asiakas voi valita vakiotuotteen joka on yksi kokonainen tuote, eikä voi vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Puhtaassa tuotekonfiguroinnissa asiakas valitsee joukon valmistajan määrittelemistä tuoteominaisuuksista muodostaen tuotevariantin. Tätä voidaan kutsua myös järjestelmälliseksi tuotemuunteleksi. Jos asiakas valitsee tuotteeseensa ominaisuuksia joita yritys ei suoraan tarjoa, on kyseessä puhdas asiakasvarioituva tuote. Osittain konfiguroitavassa tuotteessa asiakas valitsee sekä valmistajan määrittelemiä tuoteominaisuuksia, että asiakasvarioituvia ra-

kenteita. Asiakasvarioituvan osan vaikutuksia pyritään minimoimaan esimerkiksi vakio-rajapinnoilla. (Pulkkinen 2007; Pulkkinen 2004)

Agco Powerin tuotteet ovat pitkälti osittain konfiguroitavia tuotteita. Konfiguroitavan osan muodostaa lähinnä RASKOssa valmistettava osa. Lähes loppuosa moottoreista on asiakasräätälöityjä.

Varioituvat kohdat voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin variaatioihin. Sisäiset variaatiot ovat tuotantoverkossa ilmenevät variaatiot, mutta ovat asiakkaalle näkymättömissä. Ulkoiset variaatiot taas ovat niitä seikkoja, jotka myynti ja asiakas kokevat variaatioiksi. Sisäistä variaatioita on eliminoitava koska se ei lisää asiakkaan kokemaa arvoa. Myös ulkoinen variointi jolle ei ole todellista asiakastarvetta on vältettävä. (Huhtala 2009)

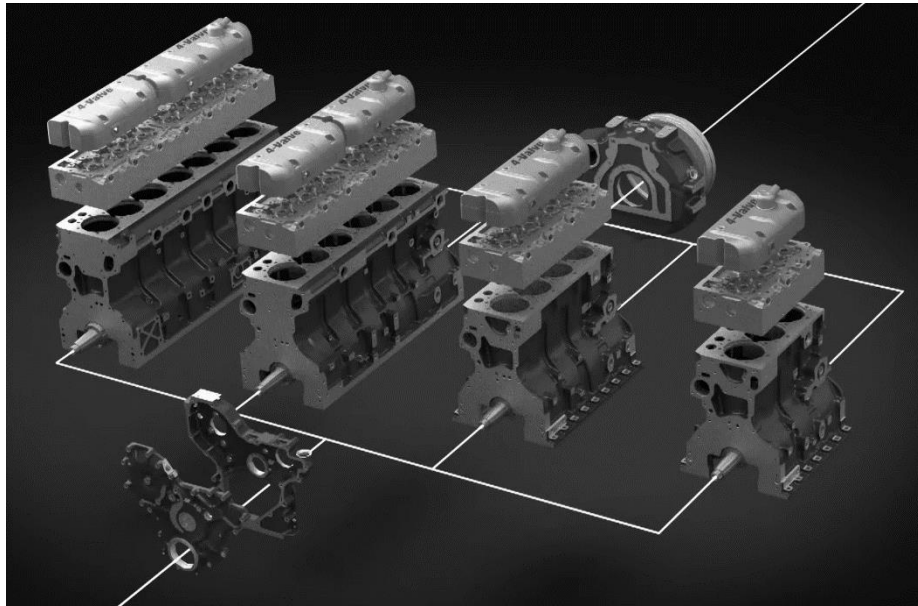
2.3.2 Systemaattinen uudelleenkäyttö

Sisäisen variaation välttämisen hyödyt liittyvät osien uudelleen käyttöön. Samoja osia ja ratkaisuja voidaan siirtää tuotteesta toiseen, ja pyritään säästämään aikaa ja rahaa. Ideaa on sovellettu autoteollisuudessa jo 1920-luvulta lähtien kun GM luopui Fordin vakio-tuoteideasta ja alkoi sen sijaan valmistaa vakioelementtejä joista tuotteet koostuivat (Whitney 2004). Näin osia voidaan tehdä suurempina sarjoina ja talouden mittakaavaetu saavutetaan. (Huhtala 2009)

Systemaattista suunnitelmien ja osien uudelleenkäyttöä voidaan vieroksua sen vaativuuden takia. Sillä saavutetaan kuitenkin merkittäviä vaikutuksia, esimerkiksi huomattava laadun parannus ja toiminnan tehostuminen, kun verrataan perinteiseen reaktiiviseen tai osastolla tapahtuvaan uudelleen käyttöön. (Duffy 1999)

Osien uudelleen käyttöä on käytetty mm. autoteollisuudessa. Esimerkiksi Pohjois-Amerikan markkinoille lanseerattu Saab 9-2 perustui Subaru Imprezan tekniikkaan, BMW käytti samaa 1.8-litraista lohkoa eri moottoreissa 1970 luvulta 1990 luvulle ja VAG on käyttänyt samoja TDI moottoreita Audista Skodaan. (Huhtala 2009)

Osien uudelleen käyttöä on sovellettu paljon myös Agco Powerin dieselmoottoreissa. Moottorin perusrakenne on pysynyt samana jo yli kuusi vuosikymmentä (Tuomi 2010). Esimerkiksi 3-sylinterisen moottorin sylinterin kansia käytetään 3-sylinterisissä moottoreissa, mutta myös 6-sylinterisissä joissa niitä on kaksi peräkkäin. Myös samoja hammaspyöräkoteloida käytetään niin 3-, 4- kuin 6-sylinterisissäkin moottoreissa. Näitä ominaisuuksia on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. Agco Powerin moottorituoteperhettä (ValtraVideos 2014)

Moottorin perusrakenne on muutenkin hyvin vakioitu. Moottorin varusteluun käytetyt komponentit suunnitellaan kuitenkin enemmän asiakaskohtaisesti, ja niiden kohdalla syntyy paljon variaatiota.

2.3.3 Tuotealusta

Whitney (2004) määrittelee tuotealustan yleisesti näin: ”Se on osuus tuotteesta, tai joukosta tuotteita, tai tuotteista ja niiden suunnitelmista sekä tuotantojärjestelmistä, joka on erotettu täysin muusta tuotteesta joukolla rajapintoja siten, että kumpaakin osuutta rajapinnan molemmiin puolin voidaan muuttaa vaikuttamalla mahdollisimman vähän toiselle puolelle.”

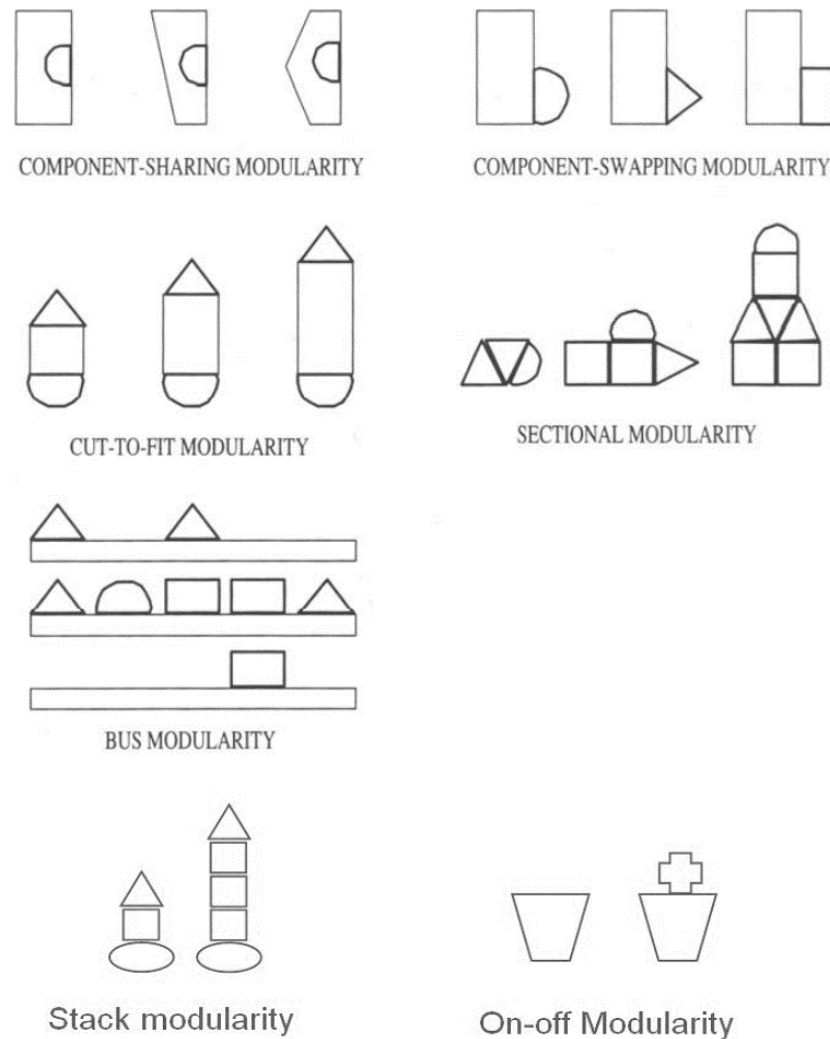
Oleellista tuotealustoissa on uudelleen käyttö ja tuoteperhettä yhdistää yhteinen ”perimä” (Lehnerd 1997). Käyttämällä niin sanottua tuoteperheen master-mallia (Product Family Masterplan), voidaan perimä voidaan tallettaa siihen (Mortensen 2000). Tuotealustoilla pyritään myös vaikuttamaan tuotekehityksen organisointiin (Huhtala 2009). Kun ensin on eritelty vakioidut ja varioituvat osat, voidaan tuoteperheen jäsenet määrittellä (Whitney 20004). Etuna vakiosuunnitelmassa on se, että siinä on jo lähtökohtaisesti tarkoitus olla erilaisia versioita sekä abstrakitason ja valmiusaseteen suhteen (Huhtala 2009).

Ahoniemi et al. (2007) esittää tuotealustan perusmoduuleina. Perusmoduulit määrittävät kunkin tuoteperheen ja muodostavat tuotealustan. Perusmoduulien suunnitteluun tulisi kiinnittää erityistä huomiota, ja tuotealusta tulisi suunnitella niin, ettei siihen tarvitsisi enää tehdä jälkikäteismuunnoksia. Tuotteen mahdolliset muutokset tulevaisuudessa on otettava huomioon ja voidaan jo etukäteen sopia esimerkiksi siitä, mikä olisi riittävä syy

tuotealustamuutokseen. Loppu tuote kootaan vallinnaisista moduuleista perusmoduulien ympärille. (Ahoniemi et al. 2007)

2.3.4 Modulaarisuus ja integraalisuus

Modulaarisessa tuotearkkitehtuurissa tuote koostuu toisistaan riippumattomista moduuleista. Moduuleilla on ennalta suunnitellut vakiorajapinnat ja ne ovat vaihtokelpoisia. Moduuleita voidaan suunnitella vakiorajapintojen vuoksi toisistaan riippumatta eli rinnakkain ja hajautetusti. Rajapintojen hyvä hallinta ja suunnittelu luovat joustavuutta tuotantoon, käyttöön ja kierrätykseen. Vakiorajapinnat vievät kuitenkin paljon tilaa ja modulaariset tuotteet ovat usein integraalisiin tuotteisiin verrattuna suuria ja painavia. (Huhtala 2009). Modulaarisuus voidaan jakaa viiteen pääosaan (Pine II 1993) ja kahteen erityistapaukseen (Lehtonen 2007). Kuvassa 10 on havainnollistettu eri modulaarisuus tyyppejä.



Kuva 10. Modulaarisuuden eri tyypit (Muokattu lähteistä Pine II 1993 ja Lehtonen 2007)

Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa (Component Sharin Modularity) käytetään alentamaan kustannuksia. Tämä modulaarisuustyyppi on hyvä nopeasti kasvaville tuotantomäärille, joissa myös tuotantolinjan kustannukset kasvavat nopeasti. Tuotteen asiakaskohtainen räätälöinti ei ole parhaalla mahdollisella tasolla, mutta tarjoaa alhaiset kustannukset tuotannossa ja laajan variaation tuotteita. Kun halutaan vähentää osia ja parantaa tuotantolinjan kustannuksia, jo olemassa olevan, korkean vaihtelevuuden omaavassa tuotantolinjassa, ”komponenttien käyttö useammassa tuotteessa” on parhaimmillaan. (Pine II 1993)

Komponenttien vaihtokelpoisuus (Component Swapping Modularity) on hyvä keino luoda tuotevariantteja. Toisin kuin ”Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa”, tässä perustuote pysyy samana, mutta sen tiettyyn kohtaan voidaan yhdistää eri elementtejä luoden uusia tuotevariaatioita. (Pine II 1993)

Parametrisoitu modulaarisuus (Fabricate to Fit Modularity) on modulaarisuuden muoto, jossa yksi tai useampi komponentti muuttuu parametrisesti. Esimerkiksi jonkin

osan mitta muuttuu annettujen rajojen sisällä. Tällä tavoin voidaan tarjota asiakkaalle, joille tuotteen arvo määräytyy vahvasti komponenttien varioituvuudesta, yksilöllinen tuote ja saadaan massaräätälöinnin hyödyt esiin. (Pine II 1993)

Väylämodulaarisuus (Bus modularity) perustuu standardoituun väylään, jossa on vakoidut rajapinnat. Moduulit voidaan vakiorajapintojen vuoksi kiinnittää mihin tahansa rajapintaan. (Pine II 1993)

Lohkomodulaarisuus (Sectional Modularity) mahdollistaa suurimmat räätälöinti- ja variointimahdollisuudet. Kun komponentit ovat kiinnitettävissä standardirajapintojen avulla, lohkomodulaarisuus tarjoaa minkä tahansa eri komponenttien muodostaman konfiguraation mielivaltaisella tavalla. (Pine II 1993)

Valinta- ja pino-modulaarisuus (on-off modularity, stack modularity) edustaa kahta erityistapausta. Valinta-modulaarisuus on erikoistapaus komponenttien vaihtokelpoisuusmodulaarisuudesta. Tässä moduuli joko asennetaan tai sille varattu paikka jätetään tyhjäksi. Pino-modulaarisuus on alatyyppejä parametriseen modulaarisuudelle. Siinä parametrinen esimerkiksi pituuden muuntelu toteutetaan osan pituuden muutoksen sijasta monella moduulilla peräkkäin. (Lehtonen 2007)

Integraalinen rakenne on modulaarisen vastakohta. Se sen sijaan edustaa tuotteen optimointia, esimerkiksi hyvää tehopainosuhdetta. Moduulien suunnittelussa voidaan optimoida tiettyä toiminnollisuutta tai implementointia varten. Moduulit ovat kuitenkin toisistaan riippuvia ja tapauskohtaisesti määriteltäviä eivätkä välttämättä ole siirrettävissä toiseen projektiin. Näin ollen joustavuus jää huonolle tasolle. (Huhtala 2009, Whitney 2004)

Agco Powerin moottoreiden perusrakenne noudattelee hyvin modulaarisuuden ajatusta. Useissa eri moottoreissa käytetään mm. samoja määntiä. Sama moottorilohko on käytössä kaikissa eri konfiguraatioissa kun sylinteriluku pysyy samana. 3-sylinterisiin moottoreihin sylinterikansia on kaksi- ja neliventtiilisiä malleja ja molemmat sopivat samaan lohkoon. Samoja sylinterinkansia käytetään myös 6-sylinterisissä moottoreissa, mutta tällöin niitä tulee 2 per moottori. Myös hammaspyöräkotelon ja moottorilohkon rajapinta on vakioitu ja kaikki kotelot sopivat kaikkiin moottorilohkoihin. Nämä vaiheet moottorin kokoonpanosta hoidetaan automaattisesti RASKO:ssa. Muita modulaarisia kohtia moottorissa ovat vauhtipyöräkotelo, vauhtipyörä sekä öljypohja. Niiden täytyy kuitenkin usein olla keskenään yhteensopivia.

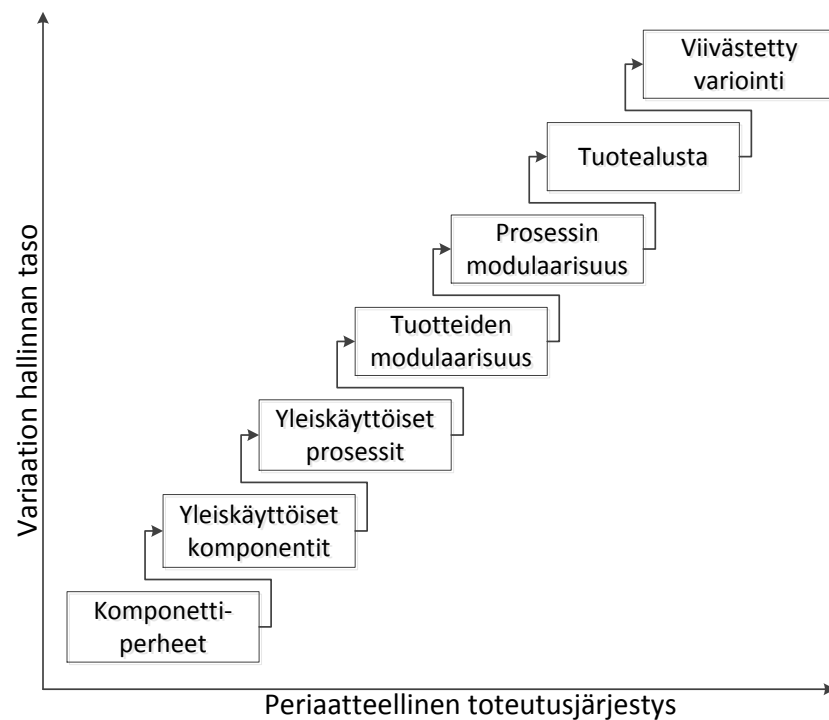
Loppu osa moottorista edustaa integraalista tuoterakennetta. Moottorin koon on pysyttävä maltillisena, ja varustelu on pyritty pitämään mahdollisimman lähellä moottorin runkoa. Integraalisessa rakenteessa pyritäänkin juuri optimoimaan jotain ja tässä se on koko.

Liiketoiminnan näkökannalta tuoterakenteen tulisi olla modulaarinen, jolloin toiminnot kytketään yksikäsitteisesti ja toisistaan riippumattomasti kokoonpanoihin ja osiin. Modulaarisilla tuotteilla asiakaskohtainen räätälöinti on tehokkaampaa kuin integraalisilla. (Huhtala 2009)

2.3.5 Varioinnin hallinta

Kun tuotteisto on asiakaslähtöinen, on vaarana tuottaa suuri määrä uniikkeja lopputuotevariaatioita, joiden yksikkö hintaa ei tunneta. Tällöin hinta saatetaan arvioida myyntitilanteessa väärin. Jos yksittäisille asiakkaille suunnitellaan jatkuvasti uusia tuoteominaisuuksia, eikä vanhoja, vähän käytettyjä optioita systemaattisesti karsita, mahdollisia lopputuotevariaatioiden määrä kasvaa jatkuvasti. Tämä on melko yleistä massaräätälöintiä hyödyntävissä yrityksissä. (Ahoniemi et al. 2007)

Edellisten alilukujen modulaarisuuden ja tuotealustojen käyttö ei ole ainut tapa kontrolloida variaatioita. Bleck & Abdelkafin (2006) on esittänyt variaatioiden hallintaan kuvan 11 mukaisen porrasmallin, joka on kehitetty massaräätälöinnin näkökulmasta.



Kuva 11. Variaatioiden hallinnan toteutuskeinot (Mukailtu lähteestä Blecker & Abdelkafi 2006)

Kuvan 11 porrasmallissa on kuvattu eri variaation hallinnan tasoja yhdessä toteutusjärjestyksen kanssa. Hallinnan kehitys alkaa komponenttiperheistä ja päättyy viivästettyyn variointiin. Seuraavaksi on avattu porrasmallissa esitettyjä keinoja.

Komponenttiperheet tarkoittavat systemaattista lähestymistä komponenttien luokitteluun niiden yhteisten ominaisuuksien pohjalta. Tällä tavoin voidaan havaita paremmin onko tuotannossa jo hyvin samankaltaisia komponentteja tai mahdollisesti ylimääräisiä komponentteja jotka voitaisiin korvata toisilla osilla. (Ahoniemi et al. 2007, Bleck & Abdelkafin 2006)

Yleiskäyttöiset komponentit vaativat systemaattista osien uudelleen käyttöä eri tuotteissa ja tuoteperheissä, sekä osien standardointia jo suunnitteluvaiheessa. Näin komponenttimäärää saadaan vähennettyä ja samalla kehitettyä tuotantoprosessia yhtenevämmäksi. (Ahoniemi et al. 2007, Bleck & Abdelkafin 2006)

Yleiskäyttöisten prosessien eli vakioitujen tuotantoprosessien kehittäminen eri tuotteiden valmistukseen johtaa siihen, että tuotteiden modulaarisuutta voidaan käyttää aiempaa tehokkaammin. (Ahoniemi et al. 2007, Bleck & Abdelkafin 2006)

Tuotteiden modulaarisuudesta on kerrottu luvussa 2.3.4 Modulaarisuus ja integraalisuus.

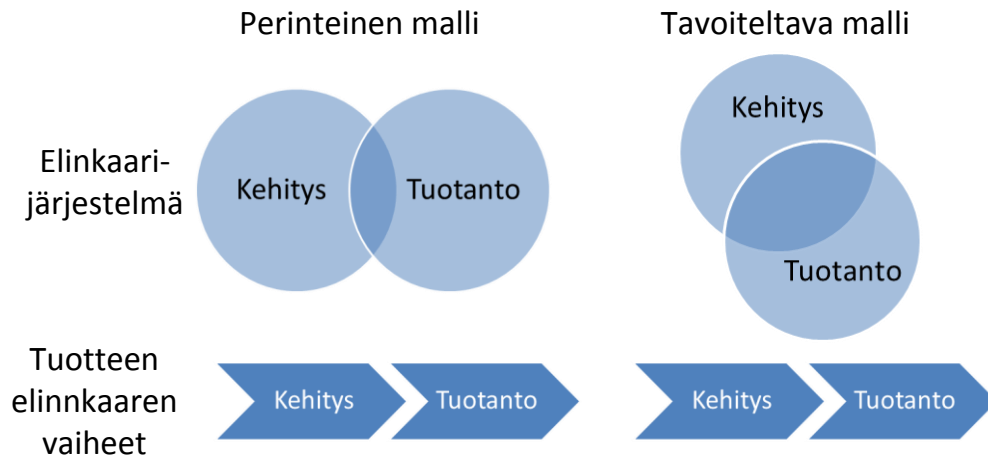
Prosessien modulaarisuus tarkoittaa sitä, että muutos jossain muussa kohtaa tuotetta ei vaikuta tuotteen muihin osiin tai moduuleihin. Näin erilaisten variaatioiden vaikutukset saadaan rajattua vain tiettyyn tuotantovaiheeseen ja pieneen osaan koko prosessia, eikä tuotevariaatioiden mahdollinen suuri määrä vaikuta tuotannon tehokkuuteen suoraan. (Ahoniemi et al. 2007, Bleck & Abdelkafin 2006)

Tuotealusta on jatkumoa tuotteiden ja prosessien modulaarisuudelle. Siitä on kerrottu enemmän luvussa 2.3.3 Tuotealusta.

Viivästetty variointi tarkoittaa asiakaskohtaisten variaatioiden kytkeytymistä tuotteeseen mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa tuotantoa. Mitä kauemmin tuote kulkee tuotealustan mukaisena ”perustuotteena” prosessissa, sitä standardoidumpana tuotantoprosessi pysyy. (Ahoniemi et al. 2007, Bleck & Abdelkafin 2006)

2.4 Tuotannon osa tuotekehityksessä

Tämä luku käsittelee sitä, kuinka tuotanto voi vaikuttaa tuotekehitykseen ja toisaalta, kuinka suunnittelu osaa ottaa tuotannon paremmin huomioon tuotekehityksen aikana. Kuvassa 12 on kuvattu tavoiteltava kehityksen suunta.

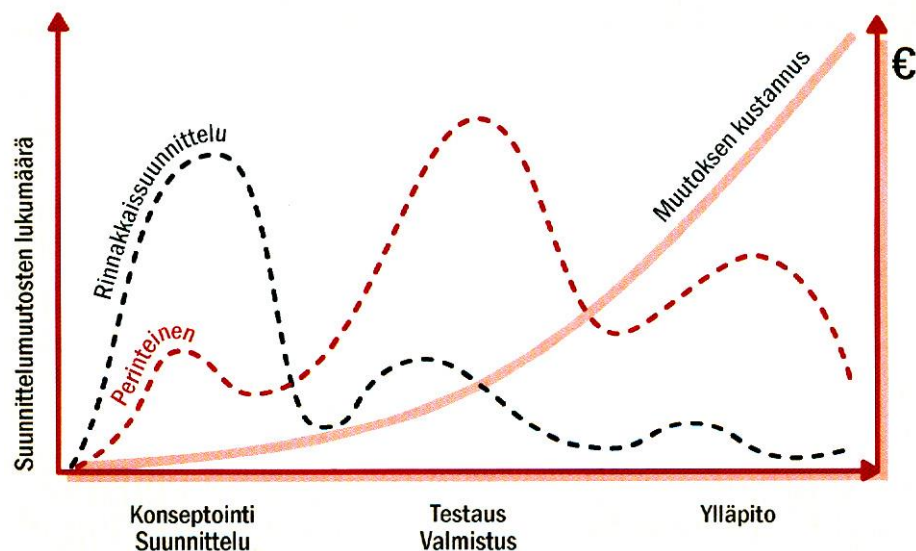


Kuva 12. Elinkaarijärjestelmän kohtaaminen tuotteen elinkaarivaiheeseen vaihtuessa; perinteinen ja tavoiteltava malli (Mukailtu lähteestä Huhtala 2009)

Kuten kuvassa 12 esitetään, tulisi kehityksen suunta olla se, että tuotanto ja tuotekehitys tekisivät entistä enemmän yhteistyötä. Tällä saavutetaan parempi tuotteen ja tuotantojärjestelmän kohtaaminen, kun osapuolet ovat hyvin valmisteltuja.

2.4.1 Rinnakkaissuunnittelu

Tuotannon rooli suunnittelussa alkaa konkretisoitua siinä vaiheessa, kun suunnitelmat alkavat saada fyysisen muodon. Organisaation tavoitteena tulisi olla suunnitelmien ongelmaton ja nopea tuotteistaminen. Kuvassa 13 on esitetty karkeasti ”perinteisen” ja ”rinnakkaissuunnittelun” erot. (Huhtala 2009)



Kuva 13. Rinnakkaissuunnittelu (Huhtala 2009)

Perinteisessä suunnittelumallissa tuotteeseen tehdään paljon muutoksia ja kehitystä vasta testausvaiheessa. Tämä johtuu siitä, että tuotteen ongelmat tulevat esille vasta kun

tuote saa konkreettisen muodon. Konseptointi ja suunnitteluvaiheessa asiat saattavat sujua näennäisesti hyvin, mutta ongelmat tulevat esiin vasta myöhemmin. Tähän ongelmaan avuksi on rinnakkaissuunnittelu. Kuvassa 13 on esitetty myös kuinka tuotteeseen tehty muutos maksaa aina sitä enemmän mitä myöhemmin se tehdään. Konseptivaiheessa muutoksen tekeminen on ehkä vain muutos tuotteen määrittelyssä. Jos virhe tuotteessa huomataan vasta kun se on jo asiakkaalla, on virheen hintalappu jo erittäin huomattava, kun tuote on kutsuttava takaisin tai tehtävä muutokset kentällä. (Huhtala 2009)

Kuvan 13 rinnakkaissuunnittelussa tuotekehitysprosessissa on suunnittelun lisäksi mukana myös muita tahoja kuten tuotanto. Eri tahot muodostavat monialaisen tiimin. Monipuolinen tiimi osaa tarkastella konsepteja ja suunnitelmia useammasta kulmasta kuin perinteinen suunnittelu. Tällöin jo konseptivaiheessa voidaan huomata tuotteessa ongelmia esimerkiksi tuotannon näkökulmasta. On mahdollista kehittää esimerkiksi tuotteen kokoonpantavuutta jo ennen ensimmäistään prototyyppiä, kun tiimissä on henkilö, joka osaa nähdä tilanteen kokoonpanon ja olemassa olevan tuotantojärjestelmän kannalta. (Huhtala 2009)

Adler (Adler 1995) on luonut mallin tuotannon ja tuotekehityksen välisistä vuorovaikutuksista (Taulukko 3). Malli on jaettu kolmeen aikajaksoon: Aika ennen kehitysprosessia, suunnitteluvaihe ja tuotantovaihe. Ensimmäisessä vaiheessa muodostuu toimintatapoja, teknologioita, rakenteita yms. Suunnitteluvaiheen tuloksena syntyvät tuotteen määrittelyt ja suunnitelmat. Viimeisessä vaiheessa syntyy itse toimitettava tuote. Adler erottelee 5 yhteistoiminnan tasoa lisääntyvän vuorovaikutuksen mukaisessa järjestyksessä. (Huhtala 2009)

0. Ei vuorovaikutusta
1. Standardit
2. Aikataulut ja suunnitelmat
3. Osapuolten välinen säätö
4. Tiimien käyttö

Taulukko 3. Erilaisten suunnittelun ja tuotannon vuorovaikutustapojen luokittelu (muokailtu lähteestä Huhtala 2009)

Toiminnan tasot	Aika ennen kehitysprojektia	Tuotteen ja prosessin suunnitteluvaiheet	Tuotantovaihe
<i>Ei vuorovaikutusta</i>	Anarkia	Yli seinän	Tapauskohtaiset ratkaisut
<i>Standardit</i>	Yhdenmukaisuus standardit	Suunnittelusäännöt ja hiljainen tieto sopivuudesta	Joustava tuotanto (teknologia)
<i>Aikataulut ja suunnitelmat</i>	Kyvykkyyksien kehittäminen	Luovutus-vastaanotto käsittely	Poikkeaminen käsittely
<i>Molemminpuolinen säätö</i>	Yhteistyöryhmät	Tuotettavuuden katselemoinnit	Tuotannon muutosehdotukset
<i>Tiimit</i>	Yhteiskehitys	Yhteiset tiimit tuotteen ja prosessin kehittämiseen	Siirtotiimit

Jotta yhteistyö eri tahojen kanssa toimisi, on tehokas tiedonkulku ja raportointi ehdottoman tärkeää. Myös raporttien lukeminen on tärkeää projektin aika, eikä vasta projektin loputtua tutkita mitä olisi voitu tehdä paremmin. (Huhtala 2009)

Agco Powerilla suunnittelu kokee olevansa taulukon 3 kohdissa ”Yhteistyöryhmät”, ”Suunnittelusäännöt ja hiljainen tieto sopivuudesta” ja ”Tuotannon muutosehdotukset”. Ennen projekteja puhutaan paljon siitä, miten tulevaisuudessa pitäisi ottaa asioita huomioon ja tutkitaankin niitä yhdessä. Muutoksia mietitään puolin ja toisin niin rakenteeseen kuin sen valmistamiseenkin. Suunnitteluvaiheessa yhteistyö kuitenkin vähentyy ja kehitysprojektia edeltävänä aikana läpi käydyt asiat ovat enemmän tai vähemmän muistissa ja saattavat jalostuvat suunnitteluvaiheessa toteutukseksi. Todellinen vuorovaikutus puuttuu, joten monta oleellista asiaa jää huomiotta. Tuotantovaiheessa yhteistyö taas syvenee ja suunnitteluvaiheessa huomiotta jääneet asiat saavat huomiota, mutta liian myöhään. Osa asioista saadaan korjattua, mutta osa jää odottamaan ”seuraavaa projektia”. Tilanteeseen on kuitenkin saatu jo huomattavasti parannusta uusimmissa kehitysprojekteissa. (Frosterus 2015)

Tuotannon puolella koettiin yhteistyön olevan hieman heikommalla tasolla. Adlerin taulukossa aikana ennen kehitysprojektia oltiin kohdassa ”Yhdenmukaisuus standardit”, suunnitteluvaiheessa ”Suunnittelusäännöt ja hiljainen tieto sopivuudesta” ja tuotantovaiheessa kohdassa ”poikkeamien käsittely”. Myös tuotannossa koetaan, että tilanne on jo tästä selvästi parantunut uusimmissa projekteissa. (Tanni 2015)

Eräs toimiva tapa välttää tuotesuunnittelussa syntyviä virheitä on käyttää aikaisempia, jo hyviksi havaittuja ratkaisuja. Näin vältytään simuloinnilta, testaamiselta yms. Ja voidaan nopeuttaa kehitysprojektia. (Huhtala 2009)

Suunniteltavan tuotteen ongelmat tulisi huomata mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. 3D-suunnitteluohjelmat ovat suuressa roolissa suunnittelua. Kokoonpanoista on siis jo melko aikaisessa vaiheessa olemassa havainnollistavia malleja. 3D malleja voidaan siis pitää virtuaalisina prototyyppeinä ja tehdä samoja tarkasteluja kuin fyysisillekin prototyypeille, mutta aikaisemmassa vaiheessa ja pienemmillä kustannuksilla. (Huhtala 2009)

Ruotsalainen (2013) on esittänyt diplomityössään kokoonpantavuuden kehittämistä kolmiulotteisen tuoteinformaation avulla. Siinä mekaniikkasuunnitteluohjelmiston avulla suunnittelu luo kolmiulotteista tuoteinformaatiota, joka julkaistaan muiden osaamisalueiden tarkasteltavaksi heti ensimmäisistä suunnitelmista lähtien. Katseluohjelmiston avulla muut osaamisalueet voivat tutustua suunnittelun tuottamaan kolmiulotteiseen tuoteinformaatioon heti suunnitteluprosessin alusta alkaen, jolloin kommentit ja parannusehdotukset saavat suurimmat vaikutuksensa. Julkaisu silmukka on seuraava: (Ruotsalainen 2013)

1. Julkaise
2. Kommentoi
3. Arvioi
4. Muokkaa

Julkaisuvaiheessa suunnittelu luo 3D mallista kevyemmän, katseluohjelmistolla avautuvan, mallin, räjäytyskuvan tai animaation. Julkaisu formaatin on hyvä olla standardoitu ja sellainen, että kommentit voidaan tallentaa sen sisään. Julkaisussa tiedosto on saatettava halutuille tahoille, kuten tuotantoon. Katseluohjelmiston tulee riittävän helppokäyttöinen. (Ruotsalainen 2013)

Kommentointi vaiheessa taho lisää tiedostoon kysymyksiä tai kommentteja suunnittelulle. Kommentit voivat aiheuttaa, joko pieniä ja nopeita korjauksia, tai niiden pohjalta on hyvä järjestää tuotekehityspalavereita. Arvioinnin jälkeen tehdään valitut muokkaustoimet ja aloitetaan silmukka alusta. (Ruotsalainen 2013)

2.4.2 Tuotteen linjaan tuonti

Tuotannon ylösajovaihe sijoittuu sen elinkaarella tuotekehityksen ja vakiintuneen tuotantovaiheen väliin. Ylösajovaihe jää tutkimusalueena kahden suuren perinteisen tutkimusalueen väliin. Tuotekehitystutkimus sijoittuu perinteisesti ajalle ennen tuotantoa. Tuotannon ja valmistuksen tutkimus painottuu sen sijaan jo vakiintuneen tuotantovaiheen tai – järjestelmän tutkimiseen. (Terwiesch 1999)

Ensimmäiset prototyypit valmistetaan yleensä tuotannosta poikkeavalla tavalla ja/tai ympäristössä. Tuotannon ylösajovaiheesta lähtien tuotteen valmistustapa on kuitenkin lopullinen. Vaikka tuote on saatu protopajalla kunnialla kokoon, voi sen kokoonpano tuotantolinjalla tuottaa kuitenkin ongelmia. Tuotannossa voi olla vakiintunut tuotteen laitteet ja kokoonpanojärjestys jota ei voida helposti muuttaa, eikä uusi tuote istu tuotantolinjaan. Linjaan tuotaessa tuote on jo melko lopullinen ja siihen muutosten tekeminen on vaikeaa ja kallista. Esiin nousevat ongelmat ovat usein sellaisia joita ei kehitysvaiheessa tehty oikein tai on jätetty kokonaan huomiotta. (Huhtala 2009)

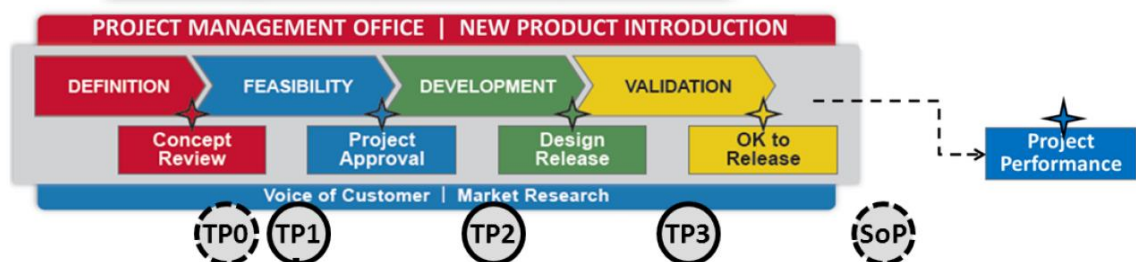
Lisäksi voi olla, että ongelman kohtaavat vain työntekijät, jotka soveltavat ongelmaan omat ratkaisunsa ja tuote saadaan kuitenkin linjasta läpi. Tällöin ongelma voi jäädä suunnittelulta kokonaan tiedostamatta, sen juurisyy korjaamatta, ja samat virheet toistuvat yhä uudelleen. Ongelmien dokumentointi ja edelleen raportointi eteenpäin on siis erittäin tärkeää. Tuotannon ja suunnittelun tehokkaalla vuorovaikutuksella saadaan virheiden juurisyyt korjattua eivätkä ne enää toistu. (Huhtala 2009)

2.5 Tuotekehitysprosessi Agco Powerilla

Agco Powerilla on käytössä neljävaiheinen tuotekehitysprosessi. Sen vaiheet ovat (Agco 2014):

1. Projektimäärittely ja toteutettavuuden arviointi
2. Tuotekehitys
3. Validointi
4. Tuotannollistaminen

Tuotekehitysprojektin etenemistä on havainnollistettu kuvassa 14. Tätä tuotekehitysprosessia käytetään kaikissa tuotekehityksprojekteissa, niiltä osin kuin se soveltuu kuhunkin projektiin. Projektipäällikkö päättää miltä osin prosessia käytetään (Hämäläinen 2014). (Agco 2014)



Kuva 14. Tuotekehitysprojektin pääpiirteet, sekä prototyyppien ajankohdat Agco Powerilla (Agco 2014)

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään projektin tavoitteet. Näitä ovat: asiakkaan vaatimukset, tuotestrategia, yrityksen strategiset tavoitteet, lainsäädäntö sekä aikaisemmista projekteista oppia ottaminen. Lisäksi määritellään aikataulutus, käytössä olevat resurssit

ja budjetti. Tässä vaiheessa on olemassa myös jonkinlainen tuotekonsepti, josta luodaan myös mahdollisesti alustava prototyyppi, niin sanottu TP0 prototyyppi. Prototyypille tehdään tarvittavat simuloinnit ja testaukset. Projektille tehdään myös riskiarvio mm. kannattavuuden, tuotannollistamisen ja asiakassuhteiden suhteen. Lopuksi tehdään konseptin katselmointi. Jos projekti vaikuttaa lupaavalta, annetaan projektin toteuttamiselle hyväksyntä. (Agco 2014)

Tuotekehitysvaiheessa laaditaan ensimmäiseksi tuotemääritykset uudelle tuotteelle ja luodaan alustava EBOM eli malleja, piirustuksia, jne. Projektipäällikkö määrittelee ja arvioi elinikä- ja luotettavuustavoitteet sekä uusien osien riskit. Komponenttitasolla tehdään vioittumis- ja vaikutusanalyysi, joka sisältää myös kriittisten mittojen määrittelyn. Määritellään millaisia validointi ja testausmenetelmiä tullaan käyttämään. Tehdään kustannustavoitteiden määrittely. Tuotanto tekee tässä vaiheessa tuotteen valmistettavuuden arviointia ja katselmointia. Hankinta arvioi myös logistisen saatavuuden osien suhteen. Tuotekehitysvaiheen lopuksi tarkastetaan ja julkaistaan komponentit ja ohjelmistot TP1 prototyyppejä varten. Prototyypit vielä rakennetaan ja testataan suunnitelmien mukaan sekä tarkastellaan saatuja tuloksia. TP1 prototyypeissa on tavoitteena käyttää vähintään 50 % sarjatyökaluilla tehtyjä osia. (Agco 2014)

Tuotekehityksen vaiheessa kolme, eli validointivaiheessa tarkastetaan, sekä päivitetään komponentteja ja ohjelmistofunktioiden ominaisuuksia PT2 prototyyppejä varten. Prototyypille tehdään simulointeja, joiden päätteeksi julkaistaan dokumentit hankintaan, valmistukseen ja laatuosastolle. Seuraavaksi tehdään päivityskierros validoinnin, testauksen, tuotekustannusten, tuotemäärityksien, aikataulun ja EBOM:n suhteen. Näiden päätteeksi rakennetaan ja testataan TP2 prototyypit päivitettyjen suunnitelmien mukaisesti. TP2 prototyypeissa on tavoitteena käyttää vähintään 85 % sarjatyökaluilla tehtyjä osia. TP2 prototyyppien pohjalta tehdään tuotemäärityksiin vielä päivityksiä PT3 prototyyppejä varten, jotka rakennetaan. Nyt tuote on jo melko lopullinen ja tavoitteena on, että kaikki sen osat on valmistettu sarjatyökaluilla. Tuote on valmis julkaistavaksi 0-sarjaa varten, ja tuotteita voidaan lähettää jo kenttätesteihin. (Agco 2014)

Viimeisessä eli tuotannollistamisvaiheessa TP3 prototyypit testataan suunnitelmien mukaan. Käytännössä tuotteet lähtevät asiakkaalle kenttätesteihin todellisiin käyttöympäristöihin. Tuotemäärityksille tehdään vielä päivityksiä. Lopulliset dokumentaatiot tarkastetaan ja julkaistaan hankinnan, tuotannon, laadun ja jälkimarkkinoinnin käyttöön. Hyväksytään vielä validointi menettelyt ja lopulta tuote hyväksytään tuotantoon. Projektin päätteeksi tarkastellaan sen onnistumista ja päätetään projekti. (Agco 2014)

3 SOVELTAVA OSUUS

Tässä luvussa tarkastellaan sitä kuinka edellä käsiteltyjä teorioita ja periaatteita voitaisiin soveltaa Agco Powerin suunnittelussa ja tuotannossa. Yrityksen puolesta työ haluttiin rajata käsittelemään moottorinjakopään hihnakäyttöisiä apulaitteita, eli latureja, vesipumppuja ja ilmastoinnin kompressoreita. Teksti on kirjoitettu tuotannon, erityisesti kokoonpanon, näkökulmasta ja sen tarpeita painottaen, joten kaikki ratkaisut eivät välttämättä ole järkeviä tai perusteltuja yrityksen muiden osa-alueiden suhteen.

3.1 DFA Soveltaminen

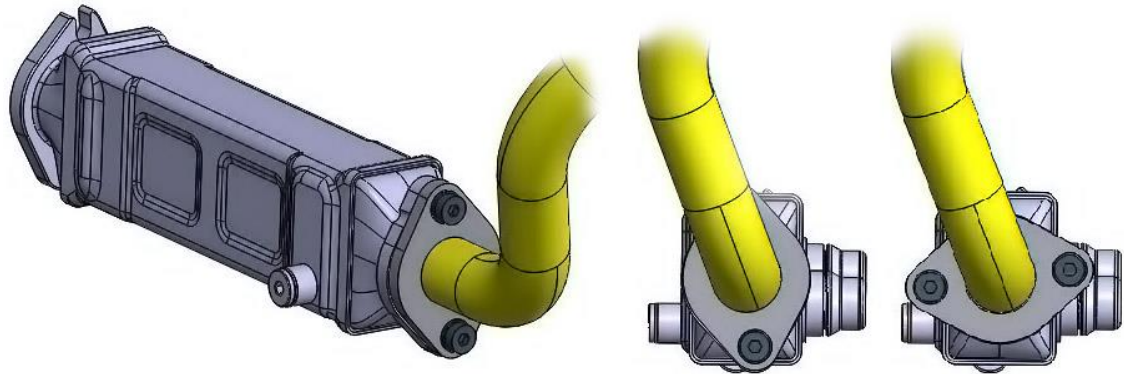
Tässä alliluvussa käsitellään sitä, kuinka yleisiä DFA ohjeita ja sääntöjä voidaan soveltaa Agco Powerin tuotekehityksessä. Perinteinen DFA on paljolti erinäisiä suunnittelu-sääntöjä ja ohjeita siitä mitä ja minkälaisia piirteitä kannattaa suunnitella. Ohjeistot eivät ole juuri 1990-luvun alun jälkeen kehittyneet, mutta ovat silti käyttökelpoisia tänäkin päivänä. Hyvänä perusteoksena pidetään, myös suomeksi saatavaa, Pahl & Beiz ”Koneensuunnitteluoppi” (Pahl & Beiz 1990), joka edustaa saksalaista koulukuntaa (Pulkkinen & Riitahuhta 2002). Boothroyn (1987, 1992, 1994) kirjoja pidetään yleisesti myös alan perusteoksina, vaikkakin niiden anti suunnittelulle jää melko kevyeksi ja osien Boothroyn esittämä osien yhdistäminen, jopa hankaloittaa tuotteiden konfigurointia (Pulkkinen & Riitahuhta 2002).

Koska DFA suunnittelusääntöjä on ollut olemassa jo monta vuosikymmentä, luulisi niiden olevan tuttuja valtaosalle koneensuunnittelijoista. Asiat kuitenkin unohtuvat ja sääntöihin olisi hyvä palata aika ajoin, jotta ne pysyvät mielessä. Luvussa 2.2 on esitelty joitain suunnitteluohjeita. Lisäksi Pahl & Beiz ”Koneensuunnitteluoppi” – kirjassa on melko kattava taulukko rakenteiden muotoiluohjeita. Taulukko on myös liitessä 2.

DFA säännöt tulisikin olla kokoajan mielessä suunnitelmia tehtäessä. Usein yksinkertaisella muutoksilla voidaan kokoonpanoa helpottaa ja nopeuttaa merkittävästi. Ratkaisun löytäminen vaatii kuitenkin tiettyä nokkeluutta ja oivaltamista, joten aikaisemmin mainitut tarkastuslistat ja muotoiluohjeet on hyvä pitää suunnittelun tukena kokoajan. Kokoonpantavuutta arvioimassa voisi olla myös oma henkilönsä. Suunnitelmien ulkopuolisesta tarkastelusta kerrotaan lisää luvussa 3.3 ”Tuotannon osa tuotekehityksessä”.

Koska suurin osa moottorin osista kiinnitetään ruuviliitoksin ja tuotantomäärät ovat suuria, olisi ruuvit hyvä saada kiinni nopeasti. Käytännössä tämä tarkoittaa niiden kiinnittämistä pulttipyssyllä. Osat tulisi suunnitella niin, että kaikki ruuvit pystytään kiristämään pulttipyssyllä tai mutterinvääntimellä, eikä lenkkiavaimia tai muita käsityökaluja

tarvittaisiin. Kuvassa 15 on esimerkki tilanteesta, jossa ruuvia ei voida kiinnittää pulttipyssyn avulla.



Kuva 15. Putken kiinnityslaipan kääntö 90 astetta kiinnityksen helpottamiseksi

Kuvassa 15 on pakokaasun uudelleenkierrätyksen jäähdytin ja siihen liitettävän putki, joita ei voida liittää ilman käsityökaluja. Ratkaisuna ongelmaa on yksinkertaisesti käännetty putken ja jäähdyttimen kiinnityslaippoja 90 astetta, jolloin putki voidaan kiinnittää jäähdyttimeen kokonaan pulttipyssyn avulla. Muita vaihtoehto olisi taivuttaa putki niin, että se tekee väistön ruuvien kohdalla, tai kääntää koko jäähdytintä ja putken laippaa 90 astetta.

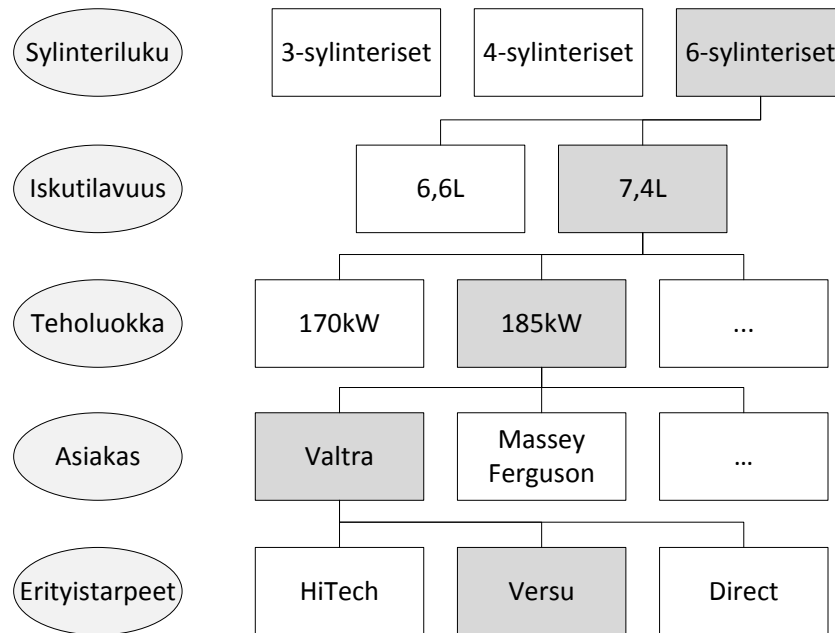
Toinen tärkeä huomioonotettava linjakokoonpanosta johtuva seikka on kokoonpanojärjestys. Suunnittelun tulisi tiedostaa, missä järjestyksessä osia linjalla asennetaan. On varmistettava, että osat pystytään asentamaan linjan nykyisellä kokoonpanojärjestyksellä. Osien asennusjärjestys saattaa vaikuttaa siihen, pystytäänkö osaa asentamaan. Toinen aiemmin asennettu osa saattaa tulla tielle niin, ettei seuraavaa osaa pystytä enää asentamaan purkamatta tuotetta. Muutos linjan kokoonpanojärjestykseen aiheuttaa paljon vaikeaa, ja muusta tuotteistosta poikkeava kokoonpanojärjestys (Palonen 2014).

Liitteeseen 1 olen tehnyt muistilistan, joka voisi soveltua hyvin juuri Agco Powerin tuotekehityksen tueksi. Listaa tulee päivittää kokoonpanon ja suunnittelun toimesta tarpeen vaatiessa.

3.2 Tuotteen vakiointi

Tässä luvussa esitetään kuinka moottorivalikoimaa voitaisiin vakioida. Tuote voidaan jakaa vakio- ja asiakasvarioituvaan osaan. Vakio-osa pysyy samana teholuokasta tai asiakkaasta riippumatta. Vakio-osa pyritään pitämään mahdollisimman suurena, jotta varioituvien osien määrä saadaan minimiin. Tällä tavoitellaan sitä, että kokoonpanoprosessi saadaan pidettyä yhtenäisenä mahdollisimman monella vaiheella. Lisäksi eri osien määrä pyritään minimoimaan.

Tässä moottoreille käytetään seuraavan laista jaottelua: Sylinteriluku, iskutilavuus, teholuokka, asiakas ja asiakkaan erityistarpeet. Jaottelua on havainnollistettu kuvassa 16.



Kuva 16. Moottoreiden jaottelua

Asiakas ja mallikohtainenkin variointi tulisi pitää mahdollisimman vähäisenä. Nykyongelma on, että asiakkaan toiveita kuunnellaan liiaksi ja tuotevariaatioita syntyy liikaa. Tämä on perua vanhasta strategiasta, joka oli tarjota asiakkaille voimakkaasti asiakasräätälöityjä moottoreita (Frosterus 2015). Tulisi pystyä tunnistamaan asiakkaan toiveista ja vaatimuksista piirteet, joita asiakas oikeasti tarvitsee. Muutenkin olisi syytä suhtautua kriittisemmin asiakkaan toivomuksiin, eikä tarjota kaikkea mitä asiakas vain keksii toivoa.

Todellisia moottorin variointia vaativat asiakastarpeita on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Asiakasvarioituvat osat moottorissa

Asiakasvarioituvat osat	Perustelut
Vauhtipyöräkotelo	Rajapinta traktoriin tai työkoneeseen
Öljypohja	
Pakosarja	Ahtimen paikka
Laturit	Erilainen tarve sähkötuotannolle
Ilmastoinnin kompressorit	Ilmastointi tai ei
Hammaspyörävetoiset apulaitteet	Jos tarve

Taulukosta nähdään, että tarvittavia varioitavia kohtia on kohtuullisen vähän. Lisäksi asiakas voisi varustella taulukon 4 kolme viimeistä kohtaa myös itse, niin kuin nytkin osaksi tehdään. Eri teholuokkia samasta iskutilavuudesta saadaan aikaiseksi ohjelmallisesti.

Iskutilavuuksien ja erityisesti sylinteriluvun vaihtuessa varioituvien kohtien määrä on huomattavasti isompi. Näin ollen voisi eri perusrakenteita olla yhtä monta kuin on eri iskutilavuuksia, eli tämän työn rajoissa viisi. Näin suurimmalla osalla vaiheista erilaisia tehtäviä olisi vain viisi, pois lukien vaiheet joilla asennetaan varioituvat osat.

Myös suunnittelulla olisi vain 5 perusmallia jatkokehiteltävinä, ja kehitys tapahtuisi kaikilla perusmallin varianteilla samanaikaisesti. Perusmallitkin pyrittäisiin pitämään mahdollisimman yhtenäisinä, niin että ainut muuttuva asia on nimenomaan iskutilavuus ja moottorin lohkon geometrian ja sylinteriluvun sanelemat eroavaisuudet.

Myös asiakasvarioituvissa kohdissa tulisi suosia yhtenäisiä ratkaisuja. Uuden tuotteen suunnittelussa tulisi tarkastella olisiko asiakkaan tarpeet mahdollista täyttää jo olemassa olevilla ratkaisuilla. Näin välttyttäisiin uuden suunnittelulta, uusia osia ei syntyisi hallittavaksi ja erilaisia asennustapahtumia on vähemmän opeteltavaksi linjassa.

Suurta moottorimalli- ja osavalikoimaa pystyisi kaventamaan poistamalla tuotannosta ja tuotantovalmiudesta vanhat mallit, joita ei enää valmisteta, tai joita tilataan todella harvoin. Näin voitaisiin lopettaa moottorien ja niiden osien ylläpitäminen sekä poistaa ne tuotantotiloista ja vapauttaa hyllytilaa. Tämä on kuitenkin enemmän myynnin ja logistiikan ongelma. Harvinaisten moottorien tuotantoon ottamisessa pitäisi tarkastella onko se taloudellisesti järkevää. Myynti usein näkee vain osien ostohinnan ja myyntihinnan välisen erotuksen. Linjakokoonpanossa yksi muista selvästi eroava tuote voi jarruttaa linjaa merkittävästi ja hidastaa siis myös muiden moottorien tuotantoa. Esimerkiksi oman kokemukseni perusteella, perinteisiä jakopumppuja asennetaan jo niin harvoin, että niiden säätäminen tuottaa monelle asentajalle ongelmia tai ei onnistu sujuvasti, ja työvaihe kestää liian kauan. Tulisi tehdä tarkasteluja ja laskelmia siitä kuinka monen poikkeavan tuotteen sarja on myytävä, jotta se on kannattavaa.

Harvinaisten moottorien satunnainen kokoonpaneminen voitaisiin siirtää myös tuotehuoltoon, jolloin tuotteen valmistus ei vaikuttaisi muuhun kokoonpanoon. Tuotehuollossa on myös hyvä tuntemus vanhoista moottorimalleista, joten kokoonpano voisi käydä sujuvasti paikkakokoonpanona.

Moottorivalmistusta on myös Kiinassa ja Brasiliassa. Niissä, sekä niitä ympäröivillä alueilla on väljemmät päästömääräykset, jonka vuoksi vanhojen, alemman päästöluokituksen, moottoreiden valmistus voitaisiin painottaa näihin tehtäisiin. Linnavuoden tehtaalla keskityttäisiin vain EU:n, Pohjois-Amerikan ja muiden vähäpäästöisten alueiden markkinoille myytävien koneiden moottorien valmistukseen.

3.3 Tuotannon osa tuotekehityksessä

Kuten luvussa 2.4 ”Tuotannon osa tuotekehityksessä” selostettiin, tulisi tuotannolla olla suuri rooli tuotteen tuotannollistamisessa. Tässä luvussa on kerrottu kuinka Agco Powerilla voitaisiin suunnittelun ja tuotannon yhteistyötä tiivistää.

Luvussa 2.4.1 kerrottiin kuinka Agco Powerin tuotekehityksen ja tuotannon välinen vuorovaikutus toimii tuotekehitysprojektin erivaiheissa. Aikana ennen ja jälkeen varsinaista suunnittelutyötä yhteistyö on melko hyvällä mallilla, mutta itse suunnitteluvaiheessa yhteistyö jää vähemmälle, ja osa ennen suunnittelua esiintuodut huomiotkin ovat saattaneet unohtua.

Suunnittelutiimin tulisi olla monialainen. Mukana olisi hyvä olla itse tuotekehityshenkilöstön lisäksi kokoonpanon, osavalmistuksen ja kaikkien muiden osastojen edustajia, joita suunnitelmat tulevat välillisesti koskemaan. Täyspäiväinen osallistuminen ei ole välttämättä tarpeen, mutta säännöllinen raportointi ja konsultointi ovat. Näin muut pysyvät suunnitelmien kehityksen tasalla ja osaavat puuttua epäkohtiin, joita suunnittelutiimiltä jää ottamatta huomioon. Kokoonpanon osalta, kokoonpanon työntekijät voivat huomata tuotteissa epäkohtia, joita perinteiset DFA säännöt eivät eliminoi. On myös tärkeää muistaa, että mitä aikaisemmin muutokset suunnitelmiin tehdään, sitä helpompaa ja halvempaa ne ovat toteuttaa.

Hyvä keino tarkastella alkuvaiheen suunnitelmien kokoonpanoystävällisyyttä on luvussa 2.4.1 mainittu 3D-mallien tarkastelu. Ruotsalaisen (2013) esittämä ”julkaise, kommentoi, arvioi, muokkaa” – silmukka vaikuttaa erittäin toimivalta ratkaisulta sellaiseenaan. Agco Powerilla on käytössä PTC Creo 3D suunnitteluohjelmisto, josta on olemassa myös Creo View katseluohjelmisto, josta Creo View Express on vieläpä täysin ilmainen, tosin ominaisuuksiltaan suppeampi kuin muut Creo View ohjelmat (PTC 2015). Tätä käyttäen voisivat tuotannon henkilökunta tarkastella tuotekehityksen luomuksia heti tuoreeltaan. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että suunnitteluryhmä myös julkaisee suunnitelmia kokoonpanon nähtäväksi. Ongelmaksi voi muodostua se, että suunnittelija ei näe tarpeelliseksi julkaista kaikkia tekemiään suunnitelmia, koska pitää niitä itsestään selvästi toimivina ratkaisuin, vaikei ehkä osaa katsoa asiaa joltain kantilta. Myös haluttomuus julkaista keskeneräistä työtä voi muodostua ongelmaksi. Hyvin keskeneräiset suunnitelmat voivat toisaalta aiheuttaa vääriä johtopäätöksiä ja turhaa työtä. Vaihtoehto julkaisulle voisi olla se, että suunnitelmat ovat koko ajan saatavilla tarkasteltaviksi. Suunnitelmia tulisi myös kommentoida, jotta tarkastelija ymmärtää mitä ratkaisulla on haettu ja miksi jokin kohta on tehty niin kuin se on tehty.

Seuraava kokoonpanon tutkimisen paikka on ensimmäiset fyysiset prototyypit. Vaikka prototyypin pääasiallinen tarkoitus onkin testata itse laitteen toimivuutta, voisi prototyypin rakentamisen yhteydessä tutkia myös sen kokoonpantavuutta. Prototyyppejä rakentaessa voisi käyttää samaa kokoonpanojärjestystä, -suuntaa ja -työkaluja, kuin kokoonpanolinjalla on käytössä. Ikään kuin simuloitaisiin kokoonpanolinjalla tehtävää työtä. Jo koottua kokoonpanoa voi olla hankala lähteä purkamaan taaksepäin mielestään, siksi asiaa olisi hyvä tarkastella todellisessa tilanteessa, eli kokoonpanon aikana. Tiedossa on oltava siis kokoonpanolinjan kokoonpano järjestys. Mukana kokoonpanossa voisi olla myös henkilöitä tuotannosta.

Seuraavaksi voidaan esittää kysymys, että kuka on oikea kokoonpanotuotannon henkilö tarkastelemaan suunnitelmien kokoonpantavuutta, niin prototyyppien kuin 3D mallienkin kohdalla? Perinteisesti katselmuksia ovat tehneet kokoonpanon johto (Hämäläinen 2014). Johdon lisäksi tarkasteluja voisivat tehdä Team Leaderit, eli ylemmät kokoonpanotyöntekijät, koska heillä on päivittäistä käytännön kokemusta moottoreiden kokoonpanosta ja muodostunut ehkä ideoita kokoonpantavuuden parantamiseen. Edelleen mielipiteitä suunnitelmista voisi kysyä linjatyöntekijöiltä. Näin saataisiin koko organisaatio mukaan suunnittelun tueksi. Tietosuojaongelmien vuoksi yksityiskohtaisia suunnitelmia ei välttämättä voi levittää tuotantotiloihin kaikkien nähtäviksi.

Jotta edellisten kappaleiden tarkasteluilla voidaan saavuttaa jotain hyötyä, on esille tulleet asiat saatettava suunnittelijoiden tietoisuuteen. Tiedon kulku on siis ensiarvoisen tärkeää. On kehitettävä tehokas ja toimiva raportointijärjestelmä, jota myös käytetään. Suunnittelijoiden on myös huomioitava palautekanavasta saadut ehdotukset, eikä suunnittelun ja tuotannon välistä vastakkainasettelua saa olla.

Kun tuote on saatu paperilla ja protopajalla sujuvasti kokoonpantavaksi, on aika ajaa se läpi kokoonpanolinjasta. Vielä on kuitenkin hyvä tarkistaa, että onko tämä mahdollista. Sillä jos nähdään, ettei moottoria tulla saamaan kokoon linjalla, on sitä turha sinne laittaa ja muutoksia on tehtävä. Kun moottori tuodaan kokoonpanolinjaan, olisi hyvä, että se hidastaisi muuta linjaa mahdollisimman vähän. Siksi uusi moottori rakennetaan yhteistyössä protopajan asentajien kanssa, sillä heillä on tässä vaiheessa paras tuntemus uusien osien asentamisesta. He yhdessä Team Leamleadereiden kanssa kiertävät moottorin mukana linjan läpi. Mahdolliset ongelmat kirjataan ja raportoidaan, joiden perusteella linjaan ja/tai tuotteeseen tehdään muutoksia. Tämän jälkeen tuotteella on valmius sarjatuotantoon.

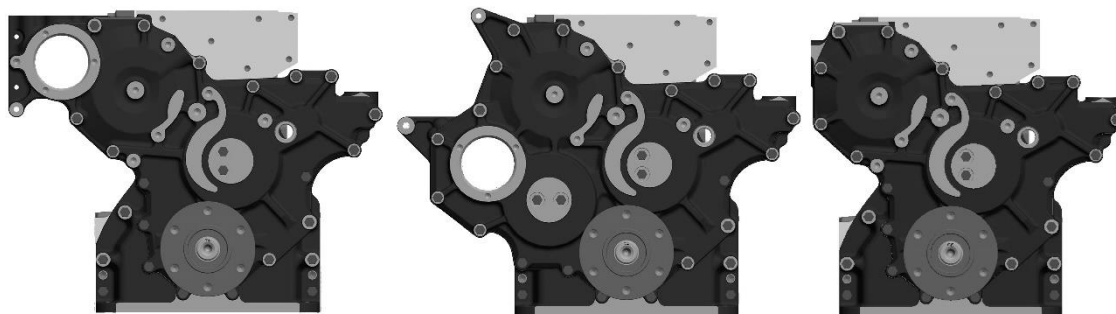
Palautteen anto ei saa kuitenkaan päättyä kun tuote saatu tuotantoon, vaan jatkuvan parantamisen periaatteella esiin tulevat epäkohdat tulee raportoida nopeasti suunnitteluun, eikä jäädä painimaan ongelmien kanssa. Pienemmät muutokset voidaan saada korjattua jo tuotannossa oleviin malleihin. Suuriakin muutoksia vaativat epäkohdat tulee raportoida välittömästi kun ne havaitaan, jotta suunnittelu pystyy riittävän ajoissa puuttumaan epäkohtaan seuraavan sukupolven moottoreita suunniteltaessa, eikä virheitä toisteta. Suunnittelun välitön reagointi palautteeseen ja ongelman analysointi on myös tärkeää, jotta muutoksia saadaan aikaiseksi.

3.4 Case: Hihnavetoiset apulaitteet

Tässä luvussa käydään läpi jakopään hihnavetoisten apulaitteiden kehitysehdotuksia, soveltamalla teoriaosuuden menetelmiä. Näitä apulaitteita ovat laturit sekä vesipumppu. Lisäksi käsitellään hieman koko jakopään layouattia.

3.4.1 Laturit

Agco Powerin tuotantolinjalla asennetaan noin kymmenkunta erilaista laturia (Palonen 2014). Erilaisia latureiden asennustapoja ja konfiguraatioita on kuitenkin lukematon määrä. Latureiden asennustapaan vaikuttaa suuresti hammaspyöräkotelon muoto, latureiden määrä ja tyyppi. Kuvassa 17 on näkyvillä kolme erityyppistä hammaspyöräkoteloa.



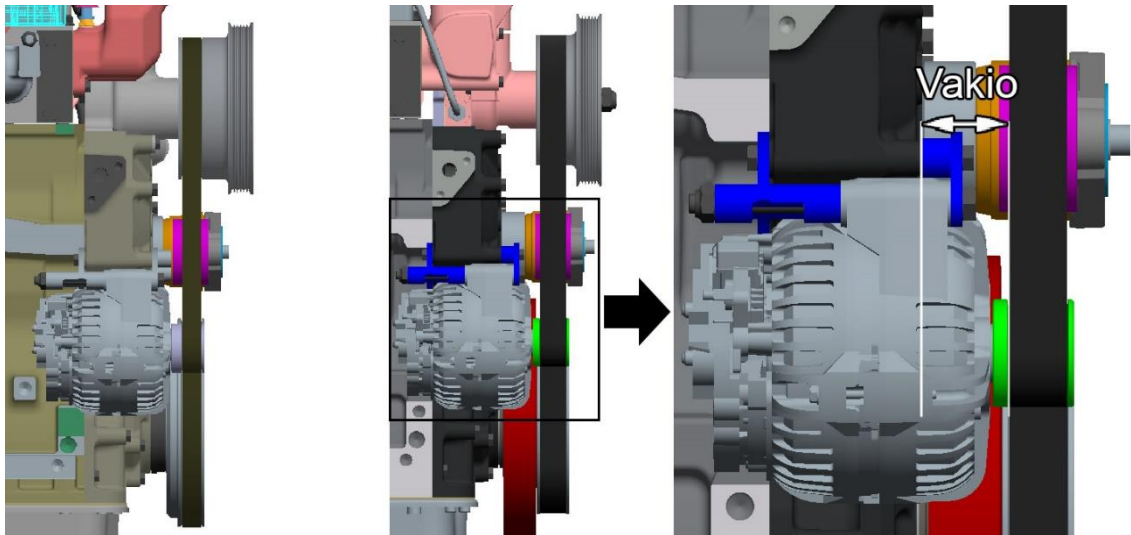
Kuva 17. Hammaspyöräkotelot: Ylä- ja alakiinnityksellä, sekä ilman hammaspyörävetoisen apulaitteen kiinnitystä

Hammaspyöräkotelon muoto riippuu jakopään hammaspyörävetoisista apulaitteista, joita voi olla joko hydraulipumppu tai paineilmakompressori. Nämä laitteet kiinnittyvät hammaspyöräkoteloon oikealle osoittaen taaksepäin. Pienet (<16,5kW) hydraulipumput kiinnitetään kotelon yläreunaan ja kompressorit sekä suuret (<33kW) hydraulipumput alareunaan, ei kuitenkaan ylös ja alas yhtä aikaa. Kompressorin kanssa sarjaan voidaan kuitenkin kytkeä pieni hydraulipumppu (Agco 2013). Näin syntyy pääpiirteittäin 3 erilaista hammaspyöräkotelotyyppiä: Ei apulaitetta, apulaite yläkiinnityksellä ja apulaite alakiinnityksellä, kuten kuvassa 17. Tosin alakiinnityksen reikäkuvio on hieman erilainen riippuen siitä kiinnitetäänkö kompressori vai hydraulipumppu. Tämä ei kuitenkaan vaikuta kotelon ja kannen päämittoihin, eikä siten latureiden kiinnittämiseen.

Lisäksi latureiden määrä vaihtelee. Monet asiakkaat haluavat asentaa laturinsa itse jollain linjalla ei asenneta yhtään laturia. Useimmissa tapauksissa asennetaan yksi laturi. Kun sähkön tarve on suuri, kuten metsäkoneissa, asennetaan 2 laturia.

Lisävariaatiota tuottaa laturin hihnapyörän pituussuuntainen sijainti, joka riippuu laturista ja hihnan paikasta, joka taas riippuu mahdollisesta värinänvaimentimesta, vesipumpusta ja hihnapyörästä sekä niiden paikoista ja muodosta. Vesipumpun hihnapyörien muoto riippuu hihnan tyypistä sekä mahdollisesta ilmastoinnin kompressorin tai muun laitteen hihnan paikasta.

Latureiden asennustapa riippuu siis erittäin monesta seikasta. Kaikista sisäisistä variaatioista, eli muuttujista jotka eivät tuota asiakkaalle lisäarvoa, tulisi päästä eroon. Muuttujia tulisikin siis vakioida jonka seurauksena asennustapojen määrää saataisiin laskettua. Hihnan sijainnin vakiointia on kuvattu kuvassa 18.



Kuva 18. Hihnan sijainnin vakiointi suhteessa moottoriin. Ilman värinänvaimenninta, sen kanssa ja suurennus.

Ensimmäiseksi vakioidaan hihnan takareunan sijainti suhteessa muuhun moottoriin kuten kuvassa 18. Tämä tulee tehdä niin, että hihna mahtuu kulkemaan kaikilla vesipumpuilla ja otetaan muutkin tarvittavat seikat huomioon. Samalla vakioidaan laturien kiinnityskohdat suhteessa laturin hihnapyörän takareunaan. Tämä koskee kaikkia eritehoisia ja kokoisia latureita. Näin voidaan käyttää aina samoja latureita, laturin kiinnikkeitä laturin tehosta, koosta, hihnasta tai hihnapyörästä riippumatta.

Edellä mainittu ei ole niin yksinkertaista johtuen joissain malleissa kampiakselin hihnapyörän ja hammaspyöräkotelon välisestä värinänvaimenninkiekosta (kuvassa 18 punainen). Jotta hihnan sijainnin vakiointi onnistuu, on värinänvaimennin asennettava hihnapyörän ulkopuolelle, eli vaihdetaan hihnapyörän ja värinänvaimentimen paikat päikseen. Hihnalinjaa voisi siirretään ulospäin kaikissa moottoreissa, tai luodaan hihnalle kaksi eri vakiohihnalinjaa; värinänvaimentamaton linja ja värinänvaimenteinen linja. Jälkimmäinen on toteutettava niin, että linja valitaan paksuimman vaimentimen mukaan, jotta hihnalinja voi olla aina samassa paikassa. Neljäs vaihtoehto olisi integroida värinänvaimennin hihnapyörään. Tämä taas kasvattaisi hihnapyörän kokoa reilusti jossain tapauksissa, jollei värinänvaimenninpyörää muotoilla eri tavalla.

Hammaspyörävetoisista apulaitteista ja latureista voidaan muodostaa taulukon 5 mukainen matriisi. Muodostuvat kombinaatiot on numeroitu 1-9.

Taulukko 5. Laturien asennusvariaatiot

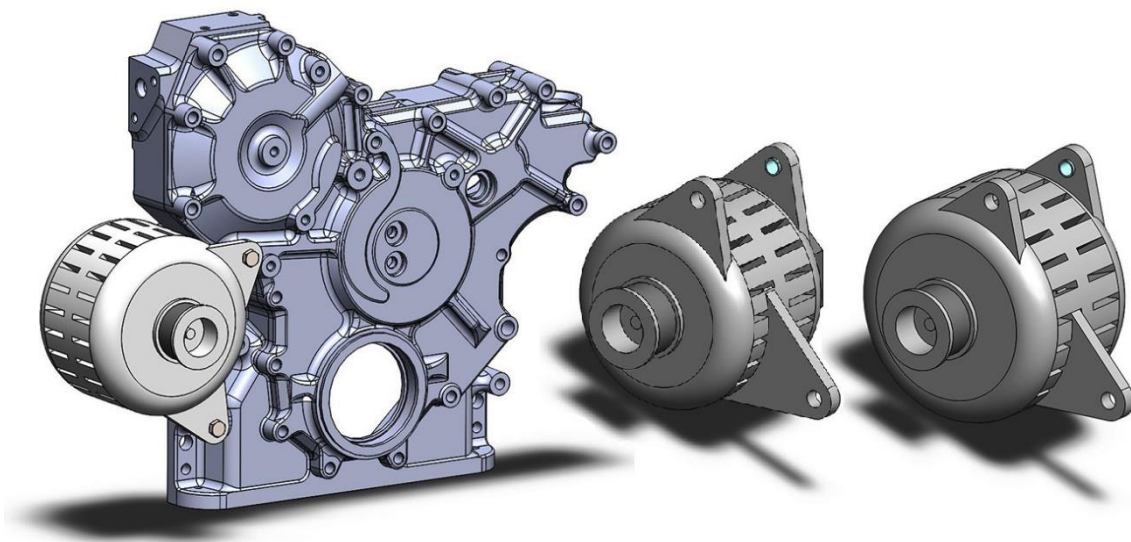
	Hammaspyörävetoinen apulaite		
	-	Yläkiinnitys	Alakiinnitys
Ei laturia	1	2	3
1 laturi	4	5	6
2 laturia	7	8	9

Kuten taulukosta 5 huomataan, on hammaspyöräapulaitteesta ja latureiden määrästä riippuvia erilaisia asennusvariaatioita yhdeksän kappaletta. Taulukon tapauksissa 4 ja 5 laturi voidaan kiinnittää samalla tapaa, sillä yläkiinnitys kiinnitys ei tule laturin tielle. Lisäksi tapausta 7 ei tule mihinkään nykyiseen moottoriin. Tapauksissa 1-3 ei asenneta laturia, joten erilaisia huolehdittavia laturivariaatioita jää jäljelle vain neljä kappaletta.

Variaatioita voitaisi edelleen vähentää kiinnittämällä myös paineilmakompressorit yläkiinnitykseen. Kaksi variaatio vaihtoehtoa poistuisi ja jäljelle jäisi vain kaksi eri laturivariaatiota. Tilan ahtauden vuoksi mäntäkompressorit pitäisi asentaa väärinpäin, eli mäntä alaspäin. Tämä tosin ei ole onnistu nykyisellä kompressorilla öljynkierron vuoksi. Mäntäkompressorin voisi vaihtaa erimalliseen, vaikkapa ruuvikompressoriin, sillä varsinkin pituus suunnassa olisi reilusti tilaa. Lisärajoituksia tuovat myös aiemmin mainitut kuormitusrajoitukset, jotka estävät kompressorin ja isompien hydraulipumppujen asennuksen yläkiinnitykseen. Täten alapuolisesta kiinnityksestä ei voida luopua, jollei yläpuolisen kiinnityksen antotehoa pystytä nostamaan.

Toinen vaihtoehto olisi, että kaikki hydraulipumput kiinnitettäisiin alakiinnitykseen, mutta tällöin saavutettaisiin vain yhden variaation vähentyminen. Lisäksi alakiinnitys vaatii hammaspyöräkotelon sisälle yhden ylimääräisen hammaspyörän ja on epäsuotuisa seuraavaksi esitetylle laturin kiinnitykselle. Tämä voisi silti olla vartenotettava vaihtoehto tuotteiston yhtenäistämiseksi. Lisäksi olisi hyvä saada eliminoitua erilaiset kiinnitykset kompressorille ja hydraulipumpulle, niin että molemmat laitteet voidaan kiinnittää samanlaiseen hammaspyöräkoteloon.

Useimmiten laturi kiinnitetään samaan linjaan hammaspyöräkotelon kanssa kahdella kiinnitysraudalla laturin molemmilta puolilta. Soveltamalla osien vähennystä ja monimutkaistamalla hieman laturin kiinnityskohtia voitaisiin luoda kuvan 19 mukainen kiinnitys.



Kuva 19. *Integroiduilla kiinnikkeillä varustettuja latureita.*

Kuvan 19 laturissa kiinnitysvaudoit ovat integroitu latureihin, eikä ruuvien lisäksi muita kiinnikkeitä tarvita. Käyttämällä laipparuuveja myöskään aluslevyjä ei tarvita vaikka laturin kuoret ovat alumiinia. Näin saadaan vähennettyä osia ja nopeutettua laturin kiinnitystä selvästi. Laturi saadaan tuotua lähemmäs lohkoa, jolloin moottorin koko saadaan kompaktimmaksi. Jotta laturi ei olisi tiukka asentaa, on siinä kuvan mukainen holkki toisella puolella ”haarukkaa”, joka yhdessä ruuvien avulla kiristyy hammaspyöräkotelo vasten. Toinen puoli haarukasta ja toisen puolen yksinäinen kiinnike sen sijaan paikoittaa laturin sijainnin. Kolme kiinnityspistettä takaavat riittävän tukevan kiinnityksen. Vastaavaa kiinnitystapaa käytetään myös autoteollisuudessa. Kuvassa 20 on laturi Dodge Caravanin 3.3L moottorissa vuosina 1996-2000 valmistetusta malleista (Dah Kee 2015).



Kuva 20. America Alternator 121000-3521 (Dah Kee 2015)

Laturi on myös skaalattavissa, kuten kuvasta 19 nähdään. Kiinnityskohtien sijainnin pidetään vakiona, vaikka laturin koko kasvaakin. Kiinnityskohtien reiät pidetään myös vakiokokoisina, jotta erikokoisten ruuvien määrä pysyy kurissa. Toisaalta hammaspyöräkotelon reiät, joihin laturi kiinnittyy, pitävät tästä huolen joka tapauksessa.

Tämän kaltainen laturi on sellaisenaan sopiva vain, kun hammaspyöräkotelossa on yläkiinnitteinen apulaitepaikka tai siinä ei ole apulaitepaikkaa ja latureita asennetaan yksi. Jos kyseisen mallinen laturi valmistettaisiin, olisi sen sovittava myös muihin laturikoonpanoihin osien määrän kurissa pitämiseksi. Tämä vaatii joko hammaspyöräkoteloiden muuttamista tai uusien telineiden suunnittelua.

Eräs vaihtoehto on, että asiakasvarioituvat jakopään toimilaitteet siirrettäisiin vauhtipyöräkoteloon kiinnitettäväksi. Kuten luvussa 3.2 on kerrottu, on vauhtipyöräkotelo aina asiakaskohtainen. Näinollen olisi perusteltua, että myös muut asiakasvarioituvat komponentit olisi kytketty siihen, koska vauhtipyöräkotelo on joka tapauksessa asiakkaalle suunniteltu. Tämä vaatisi kuitenkin moottorin perusrakenteen suurta muutosta.

3.4.2 Vesipumppu

Vesipumppuja on Agco Powerilla käytössä vajaa kaksikymmentä. Eri sylinterilukuja on tämän työn rajoissa kuitenkin vain 3 ja iskutilavuuksiakin 5, joten voisi luulla, että on myös näin monta eri jäähdytysnesteen kierrätystehon tarvetta. Toki pumpun ominaisuuksiin vaikuttaa moottorin käyttöolosuhteet, EGR:n, ahtimien säädön ja muiden laitteiden vaatima jäähdytystarve. Kuitenkin voitaisiin pohtia onko näin monelle pumpulle tarvetta ja voitaisiinko jäähdytysratkaisuja standardoida?



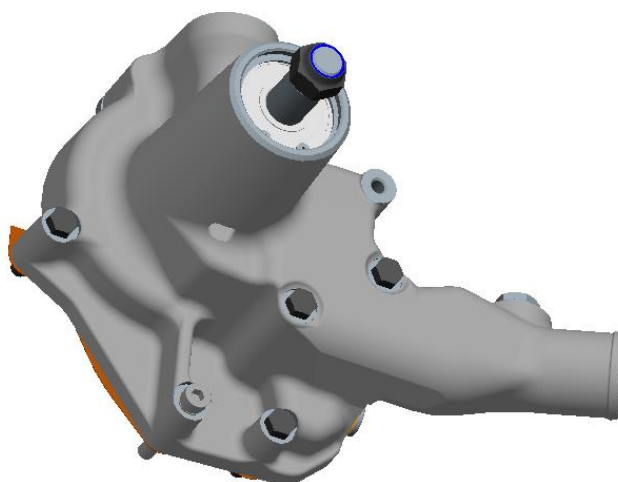
Kuva 21. Vesipumppuvaiheen kiinnitystarvikkeet

Pumppujen asennus on melko yksinkertaista ja suoraviivaista. Työpisteellä erilaisten kiinnitystarvikkeiden määrä on kuitenkin valtava, kuten kuvasta 21 voi huomata. Jokaista kiinnitystarviketta myös käytetään. Osa selittyy sillä, että pumppuvaiheella asennetaan myös nokka- ja kampiakselinasentoanturi, kampiakselin hihnapyörä, värinänvaimennin sekä erinäisiä telineitä ja kiinnikkeitä muille komponenteille. Kiinnitystarvikkekirjoa pystyttäisiin kuitenkin rajoittamaan. Taulukossa 6 on eräiden vesipumpun kiinnittämiseen vaadittavat tarvikkeet.

Taulukko 6. Eri vesipumppujen kiinnityksiin vaaditut tarvikkeet

Vesipumppu	A	B	C
Kiinnitystarvikkeet	Tiivisterengas 6-kolo M8x50 (Liima) Ruuvi M8x45 Ruuvi M8x85	Ruuvi M8x45 Ruuvi M8x55	Ruuvi M8x45 Ruuvi M8x80

Taulukosta 6 huomataan, että vesipumpuissa käytetään lähes samanpituisia ruuveja. Lisäksi tiivisterenkaan kanssa käytetään 6-kolo ruuveja, kun muut ruuvit ovat normaaleja kuusioruuveja. Nämä näkyvät myös kuvassa 22.



Kuva 22. *Vesipumppu*

Tavoite olisi käyttää mahdollisimman vähän erilaisia ruuveja, optimitapauksessa vain yhdenlaisia. Jotta tähän päästään on pumpun ruuvinkannan tasojen oltava yhtä korkealla tiivistepinnasta. Kuvan 22 kolmen vasemman puolen ruuvinkannan tasoa on korotettava ja kolmea oikeanpuolista upotettava sopivaan kompromissitasoon. Tämä olisi varmasti mahdollista ainakin taulukon 6 B pumpun kohdalla, jossa ruuvien pituusero on vain 10mm. Kun ruuvit ovat samanlaisia, asentajan ei tarvitse etsiä hyllyistä useita eri nimikkeitä. Yhtä pitkiä pultteja olisi pyrittävä käyttämään kaikissa, tai ainakin mahdollisimman monessa, pumpussa.

6-kolo ruuvia käytetään siksi, koska se on liimaruuvi, eli sen kierreosaan on valmiiksi lisätty tiivisteliima. Näin siksi, koska ruuvin reikä yltää vesitilaan asti, eikä liitos saa vuotaa. Lisäksi tuotannolla ei ole tällä hetkellä käytössä kuin 6-kolo kantaisia liimaruuveja. Koska 6-kolo liimaruuvia on joka tapauksessa käytettävä, voisi niitä käyttää myös kaikissa muissa kohdissa. 6-kolokanta soveltuu myös paremmin niihin tapauksiin jos kanta pitää upottaa ja liima kierteessä estää ruuveja aukeamasta värinän vaikutuksesta.

4 YHTEENVETO

Perinteiset DFA suunnittelusäännöt loppujen lopuksi hyvin yksinkertaisia. Ajatus siitä, että osien ja tuotteen on oltava helposti asennettavia ja kokoonpantavia, on kuitenkin pidettävä mielessä kokoajan, projektin alusta asti. Sääntöjä ja ohjeita on paljon, mutta tueksi on olemassa muistilistoja. Muistilistat voi räätälöidä itselle tai yritykselle sopiviksi hyvin joustavasti. Suunnitteluohjeita tulee käyttää jokapäiväisessä suunnittelutyössä rutiinin omaisesti. Ohjeistoa tulee myös päivittää aika-ajoin, jotta se vastaa tuotannon ja muiden tahojen asettamia vaatimuksia, jolloin sen käyttö on mielekästä. Muistilistojen käyttöön ottaminen on myös erittäin vaivatonta.

Toinen työn ydinkohta on tuotteiston vakiointi. Tuotteisto tulisi pitää yhtenäisenä ja moottorin suunnittelussa on käytettävä vakioratkaisuja, ja vältetään tekemästä poikkeuksia asioiden toteuttamiseksi. Tavoitteena on se, että kokoonpanolinjaan ei synny ”haastavia moottoreita”. Kynnys tehdä jotain poikkeavaa ja erikoista tulee olla korkea ja hyvin perusteltua.

Viimeisenä ja tärkeimpänä kohtana on suunnittelun ja tuotannon välinen yhteistyö ja kommunikaatio. Tuotannon täytyy päästä näkemään tulevien moottoreiden suunnitelmia, jotta se voi puuttua niissä huomaamiinsa epäkohtiin. Tämä voidaan toteuttaa 3D malleista tuotetuilla raporteilla, joita voidaan pitää virtuaalisina prototyyppeinä, joita tuotannon henkilökunta pääsee tarkastelemaan ja kommentoimaan. Lisäksi on ensiarvoisen tärkeää, että kommentointi ja muu viestintä sujuu ongelmitta ja oikea-aikaisesti tuotannon ja suunnittelun välillä.

Muistetaan siis pitää DFA säännöt aina mielessä, yhtenäistetään tuotteistoa ja lisätään kommunikaatiota suunnittelun ja tuotannon välillä. Näillä keinoin voidaan tuotteiden kokoonpantavuus tasoa nostaa. Lisäksi tulee muistaa, että **mitä aikaisemmin suunnitteluvirheet huomataan, sitä helpompaa, halvempaa ja nopeampaa ne on korjata.**

LÄHTEET

(Adler 1995) Adler, P.S 1995. Interdepartmental Interdependence and coordination: The case of the Design/Manufacturing Interface. *Organization Science*, 6:147-167.

(Agco 2008) AGCO SISU POWER General Brochure 2008, Esite

(Agco 2013) Agco Power R&D, Confidential business information, Installation instructions, Stage 4 / Tier 4 final engines, v. 1.3. 08.05.2013

(Agco 2014) AGCO Power, Nokia, Tuotekehitysprosessi, Prosessivaiheet, kalvosarja, 2014

(Agco web 2014) Agco Powerin internetsivut, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 27.12.2014): www.agcopower.com

(Ahoniemi et al. 2007) Massaräätälöinnillä kilpailukykyä / Ahoniemi, Lea. ; Mertanen, Markus. ; Mäkipää, Marko. ; Sievänen, Matti. ; Suomala, Petri. ; Ruuhonen, Mikko. . Helsinki : Teknologiainfo Teknova, 2007. - (Teknologiaellisuuden julkaisuja; 7/2007). ISBN 978-951-817-949-1.

(Blecker & Abdelkafi 2006) Blecker, T. & Abdelkafi, N. 2006. Complexity and variety in mass customization systems: analysis and recommendations. *Management Decision*, Vol. 44, No. 7: 908-929.

(Boothroyd 1987) Boothroyd, G. 1987. Design for Assembly The Key to Design for Manufacture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2, 3, pp.3-11 .

(Boothroyd et al. 1992) Boothroyd, G., Alting, L., 1992: Design for assembly and disassembly, *Annals of the CIRP*, vol. 41/2,p.625-635

(Boothroyd et al. 1994) Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight W., 1994: *Product Design for Manufacture and Assembly*, Macvel Dekker, New York, 540 p.

(cms 2014) Verkkosivu, Saatavissa (viitattu: 27.9.2014):
http://cms.arscolor.com/storage/sito156/off-highway_emissions_limits_cpy_3.jpg

(Dah Kee 2015) DAH KEE Alternators, America Alternator 121000-3521, Verkkosivu (viitattu: 15.1.2015): http://www.dahkee.com/en/product/Alternator-121000-3521/DK_Alternator-186.html

(Duffy 1999) Duffy, A.H.B and Ferns, A.F 1999. An Analysis of Design Reuce Benefits. In: *The Proceedings of International Conference on Engineering Design*

(Frosterus 2015) Frosterus Sami, Design manager, Agco Power Oy, Haastatteluja, talvi 2015

(Hämäläinen 2014) Hämäläinen Ismo, Manager/Advanced Engineering, Agco Power Oy, haastattelu, syksy 2014

(Huhtala 2009) Huhtala, Petri. ; Pulkkinen, Antti. Tuotettavuuden kehittäminen : parempi tuotteisto useasta näkökulmasta / Petri Huhtala, Antti Pulkkinen (toim.) ; julkaisija: Teknologiateollisuus . Helsinki : Teknologiainfo Teknova, 2009 - (Teknologiateollisuuden julkaisuja ; 4/2009.). ISBN 978-952-238-002-9 (nid.).

(Järvempää 2011) Järvenpää, E. 2011. DFA Design for assembly. Assembly Technologies and Systems, TTE- 5056, luentomateriaali.

(Lapinleimu 1997) Lapinleimu, Ilkka. ; Kauppinen, Veijo. ; Torvinen, Seppo. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät / Ilkka Lapinleimu, Veijo Kauppinen, Seppo Torvinen. Porvoo ; WSOY, 1997. - (Konepajan tuotantotekniikka). ISBN 951-0-21436-1 (nid.) :

(Lapinleimu 2000) Lapinleimu, Ilkka. Ideaalitehdas : tehtaan suunnittelun teorian kiteytys / Ilkka Lapinleimu. Tampere : Tampereen teknillinen korkeakoulu, 2000. - (Raportti / Tampereen teknillinen korkeakoulu, tuotantotekniikka, ISSN 1237-2536 ; 50.).

(Lehnerd 1997) Lehnerd, A.P. and Meyer, M.C 1997. The power of product platforms. Free Press.

(Lehtonen 2007) Lehtonen, Timo. Designing modular product architecture in the new product development / Timo Lehtonen. Tampere : Tampere University of Technology, 2007 - (Publication / Tampere University of Technology, ISSN 1459-2045; 713.). ISBN 978-952-15-1898-0 (nid.). - Diss. Tampereen teknillinen yliopisto (TTY).

(Lempiäinen & Savolainen 2003) Lempiäinen, Juhani. ; Savolainen, Jari. Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu : lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen / J. Lempiäinen, J. Savolainen. Helsinki : Suomen robotiikkayhdistys, 2003, ISBN 951-97329-1-8 .:

(Mortensen 2000) Mortensen, N.M. 2000. Design Modelling in a Designer's Workbench. Ph.D. thesis, Department of Control and Engineering Design, Technical University of Denmark.

(Pahl & Beiz 1990) Pahl, Gerhard. ; Beitz, Wolfgang. Koneensuunnitteluoppi / Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz ; suom. Uolevi Konttinen ; julk.: Suomen metalli-, kone- ja sähköteknisen teollisuuden keskusliitto, MET . Hki : Metalliteollisuuden kustannus, 1990. ISBN 951-817-468-7 .:

(Palonen 2014) Ville Palonen, Foreman, Agco Power Oy, Haastatteluja, syksy 2014

(Pine II 1993) Pine II, Joseph B. 1993. Mass customization. Harvard Business School Press. 333 p.

(PTC 2015) PTC, Creo™ View comparison chart, Topic Sheet, Verkkodokumentti, Saatavissa (viitattu: 28.1.2015): http://www.ptc.com/File%20Library/Product%20Families/Creo/Visualize/PTC_Creo_View_comparison_chart.pdf

(Pulkkinen & Riitahuhta 2002) Pulkkinen, Antti. ; Riitahuhta, Asko. DFMA jatko-opintoseminaari / Antti Pulkkinen ja Asko Riitahuhta. Tampere : Tampereen teknillinen korkeakoulu, 2002. - (Raportti / Tampereen teknillinen korkeakoulu, koneensuunnittelu, ISSN 1236-3219; 88). ISBN 952-15-0760-8.

(Pulkkinen 2004) Pulkkinen, A. and Bongulielmi, L. 2004. Design of Product Families for Configuration. In: Lehtonen, T., Pulkkinen, A., Riitahuhta, A. (eds.) Proceedings of the NordDesign 2004 — Product Design in Changing Environment Conference, Tampere University of Technology, Tampere, Finland, August 18-20, 2004.

(Pulkkinen 2007) Pulkkinen, A. 2007. Product Configuration in Projecting Company: the Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process. Väitöskirja Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 712.

(Ruotsalainen 2013) Ruotsalainen, Pauli. Tuoterakenteen ja dokumentaation merkitys kokoonpantavuudessa: diplomityö / Pauli Ruotsalainen. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, 2013.

(Tanni 2015) Tanni Paavo, Manager, Engine Assembly, Agco Power Oy, Haastatteluja, talvi 2015

(Tekes 2001) Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998-2000 : loppuraportti. Helsinki : Tekes, 2001. - (Technology programme report, ISSN 1239-1336 ; 2/2001.). - (Teknologiaohjelmaraaportti; 2/2001). ISBN 952-457-011-4 (nid.).

(Terwiesch 1999) Terwiesch, C., Chea, K.S. and Bohn, R.E. 1999. An Exploratory Study of International Product Transfer and Production Ramp-Up in the Data Storage Industry. University of California, San Diego.

(Tichem 1999) Tichem., Andreasen, M.M. and Riitahuhta, A. 1999. Design of Product Families. In: Proceeding of ICED 99. Vol 2. Munich.

(Tuomi 2010) Tuomi, Tommi. Tuoterakenteen kehittäminen asiakasräätälöitävässä sarjatuotannossa : diplomityö / Tommi Tuomi. Tampere : Tampereen teknillinen yliopisto, 2010.- Diplomityö : TTY, automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekunta, kone-tekniikan koulutusohjelma.

(ValtraVideos 2014) ValtraVideos, AGCO Power where is power born, YouTube-video, Saatavissa (viitattu: 1.12.2014): <https://www.youtube.com/watch?v=8HB-HSsvY8c>

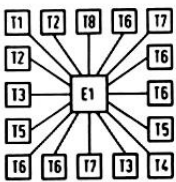
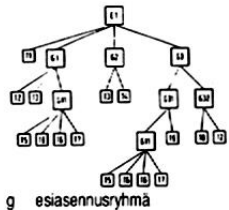
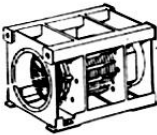
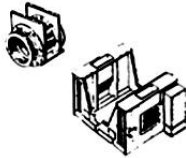
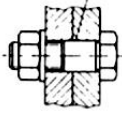
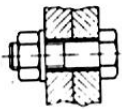
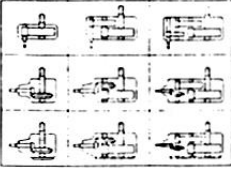

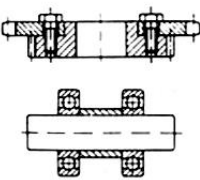
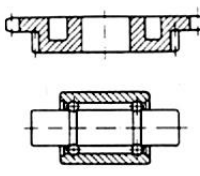
(Whitney 2004) Whitney, Daniel E. Mechanical assemblies : their design, manufacture, and role in product development / Daniel E. Whitney. New York : Oxford University Press, 2004. - (Oxford series on advanced manufacturing). ISBN 0-19-515782-6 .

LIITE 1: MUISTILISTA SUUNNITTELUUN KOKOONPANON HUOMIOON OTTAMISEKSI

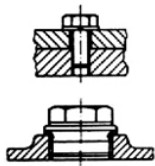
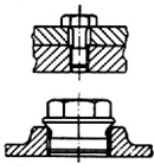
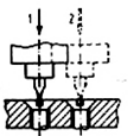
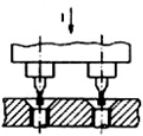
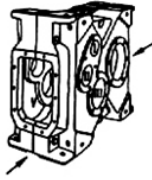
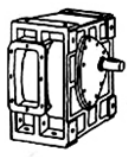
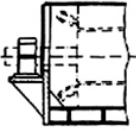
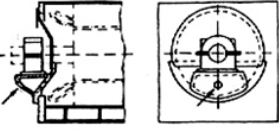


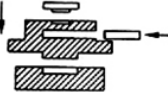
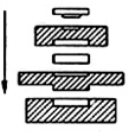
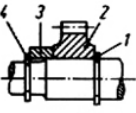
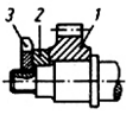
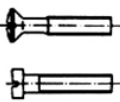

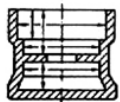
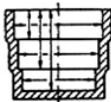
1. Toteuta ratkaisut mahdollisimman vähällä osamäärällä.
2. Erillisen osan suunnitteluun oikeuttaa jokin seuraavista kohdista:
 - a. Osan on liikuttava muuhun kokoonpanoon nähden
 - b. Osan on oltava eri materiaalia
 - c. Osan on oltava erillinen kokoonpano tai sen on oltava purettavissa esimerkiksi kuluneen osan vaihtoa varten

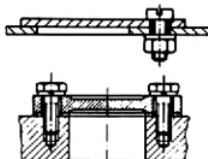
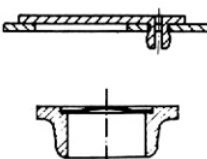
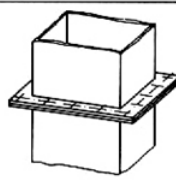
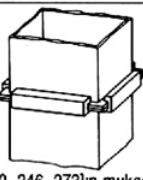


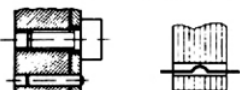
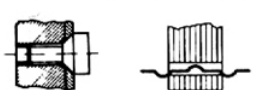
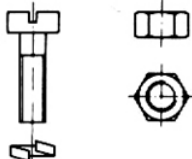
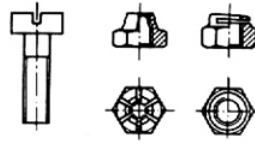
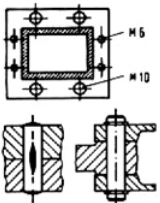
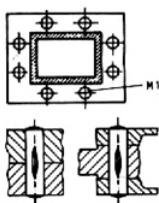
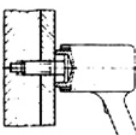
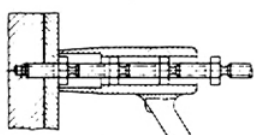
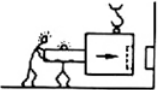
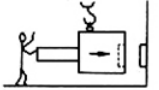
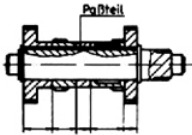
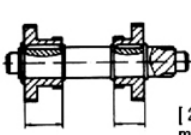
Ole kuitenkin kriittinen edellisen säännön suhteen, sillä se voi mm. vaikeuttaa tuotteen konfigurointia.
3. Tee osista helposti orientoitavia
 - a. Tee osista symmetrisiä tai täysin epäsymmetrisiä.
 - b. Vältä lähes symmetrisiä osia
4. Tee osista helposti käsiteltäviä
 - a. Osat eivät saa takertua toisiinsa
 - b. Vältä niin pieniä osia, joita on hanskat kädessä vaikea käsitellä, kuten pieniä ruuveja ja muttereita
5. Suunnittele osat niin, ettei niitä voi asentaa väärin
6. Osien tulisi hakeutua oikeille paikoilleen luonnostaan
 - a. Toleranssien tulee olla riittävän väljät jotta osa menee helposti paikoilleen, mutta niin väljät että osa voi mennä paikoilleen väärinpäin tai juuttua väärään asentoon.
 - b. Asentajan tulee osata intuitiivisesti asentaa osat oikein, ts. osilla tulee olla selkeä paikka johon ne kuuluvat.
7. Älä suunnittele osaa jonka voit ostaa luettelotavarana
8. Tutki, voitko käyttää jo olemassa olevaa ja valmista osaa/ratkaisua.
9. Suunnittele uusi osa/ratkaisu niin, että se sopii mahdollisimman moneen moottoriin, niin vanhoihin, kuin tulevaisuudenkin malleihin, jotta edellistä kohtaa voidaan käyttää myöhemmin.
10. Käytä samalle vaiheelle tulevien osien kiinnitykseen mahdollisimman paljon samanlaisia kiinnitystarvikkeita. Ota selvää mitä kiinnitystarvikkeita kyseisellä vaiheella jo on.
11. Suunnittele osien kiinnitykset niin, että kaikki ruuvit pystytään kiristämään pulttipyssyllä/mutterinvääntimellä.
12. Varmista, että osat pystytään asentamaan linjan nykyisellä kokoonpanojärjestyksellä. Ota selvää missä vaiheessa kokoonpanoa ja missä ympäristössä osat asennetaan? (Osien asennusjärjestys saattaa vaikuttaa siihen pystytäänkö osaa asentamaan jos esim. toinen osa tulee tielle)
 - a. Täysin uusi, lähes jokaisen malliin tuleva, komponentti voi vaatia linjalla uuden vaiheen. Keskustele tuotannon kanssa missä vaiheessa se olisi järkevää asentaa.
13. Hanki ja kuuntele palautetta
14. Älä toista virheitä

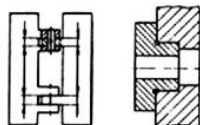
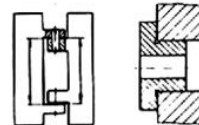
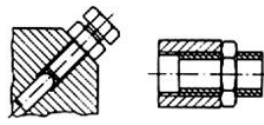
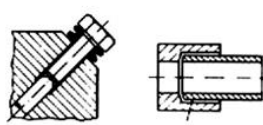
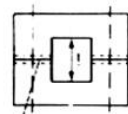
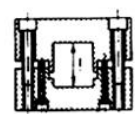
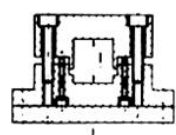
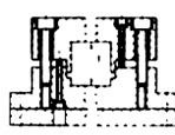
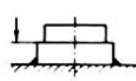
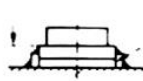
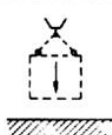
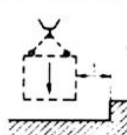
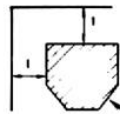
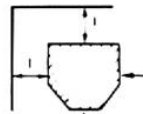
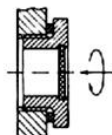
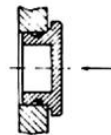

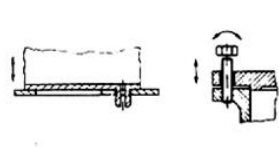
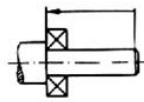
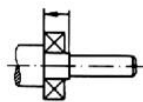
LIITE 2: MUOTOILUOHJEITA PAHL & BEIZIN MUKAAN ¹

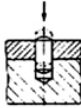
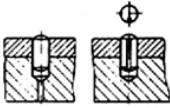
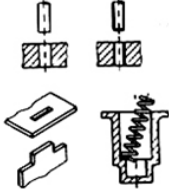
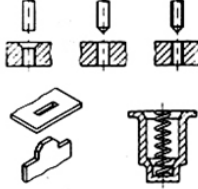
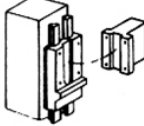
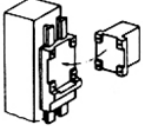
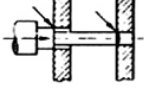
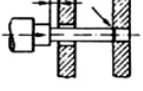


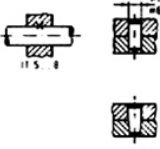

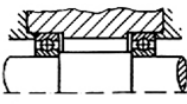
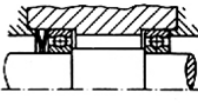
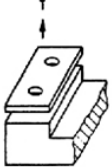
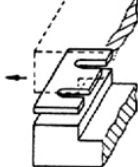

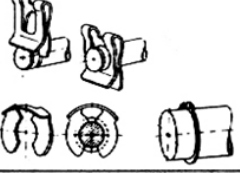
Toi- mi	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Asennusoperaatioiden jäsentely				
Va Kä Pa Li As Var Tar	Jako rakenneryhmiin porrastetun asennuksen mahdollistamiseksi esi- ja pääteasennuksineen	KAs AAs		 g esiasennusryhmä
Kä Tar	Jako riippumattomiin asennusryhmiin, esim. rinnakkaisasennusta varten	KAs AAs		
Li	Vältettävä valmistustoimia asennuksen aikana	KAs AAs	kalvataan yhdessä 	
Li As Tar	Tuoteperheohjelma jäsenellään siten, että muunnelmien muodostaminen tapahtuu mahdollisimman myöhään samoilla asennuspaikoilla	AAs		
Tar	Asennusryhmien on oltava erikseen testattavissa, ennen kaikkea muunnelmakonstruktioissa.	KAs AAs	Tasapainoittaminen kootussa koneessa.	Pelkän roottorin tasapainoittaminen.
Tar	Pyrittävä asennusryhmien ja tuotteiden toimintojen testaukseen ilman osien testausta.	KAs AAs	Yksittäisten pyörien hammas- tuksen mitta. Osien tiiveys- koe.	Kootun vaihteen melumit- taus. Putkiverkon tiiveyskoe.
Asennustoimien vähentäminen				
Va Kä Pa Li, As Var Tar	Yhdistetään osat yhdys- tai liitosrakennetavalla	KAs AAs		 (40):n mukaan


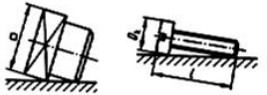
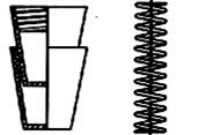
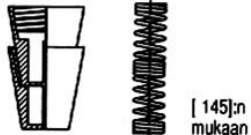
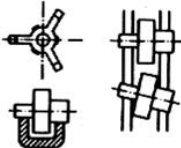
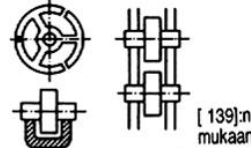
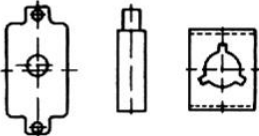
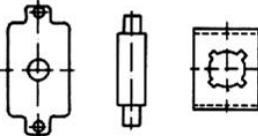
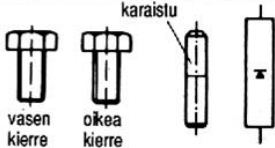
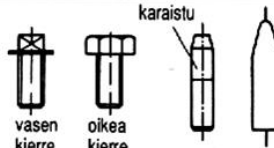
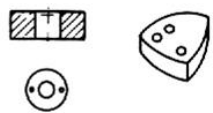
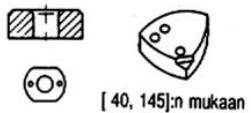
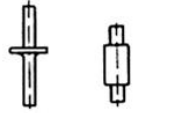
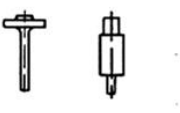
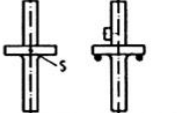
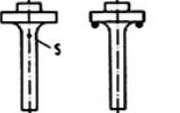
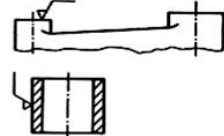
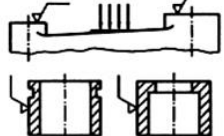
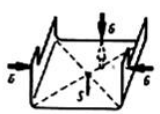
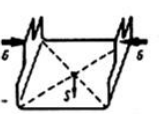
¹ Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang. (1990). Koneensuunnitteluoppi. Metalliteollisuuden kustannus.

Toimi	Muoltoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Asennustoimien vähentäminen				
Va Kä Pa Li, As Var Tar	Vähennetään osia yhdistämällä toimintoja	KAs AAs		 (40):n mukaan
Li	Yhdistetään ajallisesti asennustoimia.	AAs		
Li As Var	Vähennetään liitoskohtia- tai pintoja	KAs AAs		
As Var Tar	Vältetään jo koottujen ryhmien tai tuotteiden purkamisia toimintotestauksia varten.	KAs AAs	 roottorivälystä ei voi mitata	 roottorivälkyksen voi suoraan mitata
Asennustoimien yhtenäistäminen				
Pa Li Tar	Yhtenäinen pohjaosa kullekin asennusryhmälle, esim. loke- rorakennetapaan	AAs		 [141]:n mukaan
Li	Pyritään yhtenäisiin liitos- suuntiin ja menetelmiin sa- massa asennusryhmässä	AAs		 [141]:n mukaan
Asennustoimien yksinkertaistaminen				
Pa Li As Var Tar	Pakonomainen asennustoi- mien järjestys (yksikäsittei- nen järjestys)	KAs	 tai: 4 3 2 1	
Li	Yhdistetään valmistus- ja asennustoimia	KAs AAs		
As Tar	Hyvä luoksepäästävyys tes- tauksia varten, näkö tarkastus mahdollinen.	KAs AAs		

Toimi	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Liitoskohtien vähentäminen				
Va Kä Li As Var	Liitoselementtien vähentäminen, esim. puristus- tai lukittumislitoksella	KAs AAs		
Va Kä Li	Liitoselementtien vähentäminen erikoisrakenteisilla elementeillä	KAs AAs		 [230, 246, 273]:n mukaan
Va Li Var	Pyrittävä välittömiin liitoksiin ilman liitoselementtejä	KAs AAs		 [273]:n mukaan
Pa	Pyrittävä itsetoimisen oikaisuun ja paikoitukseen	AAs		
Var	Suosittava itsevarmistavia liitoselementtejä, esim. kimmoisplastisen muodonmuutoksen avulla	AAs		 Päällystetty mikrokapseloidulla liimalla
Liitoskohtien yhtenäistäminen				
Va Kä Li	Käytettävä samanlaisia liitoselementtejä, myös erilaisiin toimintoihin	KAs AAs		
Liitoskohtien yksinkertaistaminen				
Va Kä	Suosittava liitoselementtejä, jotka voidaan syöttää vyössä tai jatkoaineeksena	AAs		
Kä Li	Helpotettava käsittely- ja liittämisiikkeitä, esim. painopistetuennalla	KAs AAs		 [40]:n mukaan
Pa Li	Vältettävä tarkkavälyksisiä mittaketjuja avaamalla ketju	KAs AAs		 [230, 246]:n mukaan

Toim.	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Liitoskohtien yksinkertaistaminen				
Pa Li	Vältettävä kaksoissovitteita, jotta paikoitus olisi yksikäsitteinen ja toleranssimittoja vähemmän	KAs AAs		
Pa As	Suosittava yksinkertaisia asettelumahdollisuuksia tai tehtävä paikoitusvastineita	KAs AAs		 Liiimattu
Pa As	Varattava jatkuva asettelu-mahdollisuus	KAs AAs	 Ylimittä sovitetään asennuksessa	 Sovitusruuvit asennusta varten [273]:n mukaan
Pa As	Pyrittävä luoksepäästäviin asettelumahdollisuuksiin ilman muiden osien purkamista	KAs AAs		 [273]:n mukaan
Pa As	Toleranssien tasaus erityisillä tasauspaloilla	KAs		
Pa As Tar	Varattava mittauksen lähtö-pintoja, -reunoja ja -pisteitä	KAs AAs		 [40]:n mukaan
Pa As Tar	Pyrittävä yksikäsitteiseen asetteluun ilman tarkoittamat-tomia vaikutuksia	KAs AAs		
Li	Suosittava siirtäviä liitosliikkeitä	AAs		
Li	Vältettävä moniakselisia, erityisesti kaarevia liitosliikkeitä	AAs		
Li	Vältettävä pitkiä liitosmatkoja	KAs AAs		 [40]:n mukaan

Toim.	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Liitoskohtien yksinkertaistaminen				
Li	Vältettävä ilmapatjan aiheuttamaa liikkeen estymistä.	KAs AAs		
Li	Tehdään liitoshelpotuksia sisäänvientiviistouksilla	KAs AAs		 [40, 246]:n mukaan
Li	Jaetaan suuret liitospinnat useampaan pieneen pintaan.	KAs AAs		 [230, 246]:n mukaan
Li As	Vältetään yhtäaikaisia liitostointia, jotka vaikuttavat toisiinsa	KAs AAs		 [40]:n mukaan
Li As	Järjestetään tilaa asennustyökaluille.	KAs AAs		
Li As Var	Suositaan liitoselementtejä, joissa on kimmoisia, kimmoisplastisia tai lisäaineellisia toleranssintasaajia	KAs AAs		 pyälletty toleranssirengas 11 9...12 sisään valettu [40]:n mukaan
Li Var	Mahdollistetaan karkeiden toleranssien käyttö asennusosissa peräänantamisen avulla	KAs AAs		
As	Sovitetaan standardoitujen sovituspalojen avulla ilman purkamista	KAs AAs		
Var	Käytetään yksinkertaisesti asennettavia varmistuselementtejä.	AAs		

Toim	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Automaattisen varastoinnin ja käsittelyn mahdollistaminen				
Va	Suosittava asentovakaita liitososia	AAs		
Va	Vältettävä samanlaisten liitososien takertumista toisiinsa	KAs AAs		
Va Kä	Pyrittävä käyttämään vierintäkelpoisia liitososia	AAs		
Kä	Pyrittävä symmetrisiin äärioviin milloin muu ei ole välttämätöntä	AAs		
Kä	Pyrittävä geometrisiin tunnistusmerkkeihin	AAs		
Kä	Suosittava tunnistusmerkkien sijoittamista ääriviivoille	AAs		
Kä	Vältettävä melkein symmetrisiä muotoja kun asento on määrätty	AAs		
Kä	Käytettävä liitososia joiden riippukuljetuksessa painopiste määrää oikean asennon	AAs		
Kä	Tehtävä apumuotoja ja -pintoja tarttumista varten toimintopintojen ulkopuolelle	KAs AAs		
Kä	Järjestettävä tartuntapinnat painopisteen mukaan	KAs AAs		
Kä	Pyrittävä muotovakaisiin liitososiin	KAs AAs	